١١

الجُزءُ الثاني

بسم الله الرحمن الرحيم

دولة فلسطين
وزارة التربية والتعليم العالي

# الطّاقة المُتجدّدة

## علم الصناعة


المؤلّفون:

أ. إبراهيم قدح (منسقًا)  م. زياد القواسمه  م. علي ريان  م. هيثم القاضي

م. معاذ أبو سليقة

قررت وزارة التربية والتعليم العالي في دولة فلسطين
تدريس هذا الكتاب في مدارسها بدءاً من العام الدراسي ٢٠١٧ / ٢٠١٨ م

## الإشراف العام

| | |
|---|---|
| رئيس لجنة المناهج | د. صبري صيدم |
| نائب رئيس لجنة المناهج | د. بصـري صالح |
| رئيس مركز المناهج | أ. ثـروت زيـد |

| | |
|---|---|
| التحرير اللغوي | د. سهير قاسم |
| متابعة المحافظات الجنوبية | د. سميّة النّخالَة |

الطبعة التجريبية
٢٠١٧ م/ ١٤٣٩ هـ

جميع حقوق الطبع محفوظة ©

دولـــة فلـسطين
وزارة التربية والتعليم العالي
مركز المناهج

حي الماصيون، شارع المعاهد
ص. ب 719 – رام الله – فلسطين
pcdc.edu.ps | pcdc.mohe@gmail.com

mohe.ps | mohe.pna.ps | moehe.gov.ps
.com/MinistryOfEducationWzartAltrbytWaltlym
هاتف +970-2-2983280 | فاكس +970-2-2983250

# تـقـديــم

يتصف الإصلاح التربوي بأنه المدخل العقلاني العلمي النابع من ضرورات الحالة، المستند إلى واقعية النشأة، الأمر الذي انعكس على الرؤية الوطنية المطورة للنظام التعليمي الفلسطيني في محاكاة الخصوصية الفلسطينية والاحتياجات الاجتماعية، والعمل على إرساء قيم تعزز مفهوم المواطنة والمشاركة في بناء دولة القانون، من خلال عقد اجتماعي قائم على الحقوق والواجبات، يتفاعل المواطن معها، ويعي تراكيبها وأدواتها، ويسهم في صياغة برنامج إصلاح يحقق الآمال، ويلامس الأماني، ويرنو لتحقيق الغايات والأهداف.

ولما كانت المناهج أداة التربية في تطوير المشهد التربوي، بوصفها علماً له قواعده ومفاهيمه، فقد جاءت ضمن خطة متكاملة عالجت أركان العملية التعليمية التعلمية بجميع جوانبها، بما يسهم في تجاوز تحديات النوعية بكل اقتدار، والإعداد لجيل قادر على مواجهة متطلبات عصر المعرفة، دون التورط بإشكالية التشتت بين العولمة والبحث عن الأصالة والانتماء، والانتقال إلى المشاركة الفاعلة في عالم يكون العيش فيه أكثر إنسانية وعدالة، وينعم بالرفاهية في وطن نحمله ونعظمه.

ومن منطلق الحرص على تجاوز نمطية تلقّي المعرفة، وصولاً لما يجب أن يكون من إنتاجها، وباستحضار واعٍ لعديد المنطلقات التي تحكم رؤيتنا للطالب الذي نريد، وللبنية المعرفية والفكريّة المتوخّاة، جاء تطوير المناهج الفلسطينية وفق رؤية محكومة بإطار قوامه الوصول إلى مجتمع فلسطيني ممتلك للقيم، والعلم، والثقافة، والتكنولوجيا، وتلبية المتطلبات الكفيلة بجعل تحقيق هذه الرؤية حقيقة واقعة، وهو ما كان له ليكون لولا التناغم بين الأهداف والغايات والمنطلقات والمرجعيات، فقد تآلفت وتكاملت؛ ليكون النتاج تعبيراً عن توليفة تحقق المطلوب معرفياً وتربوياً وفكرياً.

ثمّة مرجعيات تؤطّر لهذا التطوير، بما يعزّز أخذ جزئية الكتب المقررّة من المنهاج دورها المأمول في التأسيس؛ لتوازن إبداعي خلّاق بين المطلوب معرفياً، وفكرياً، ووطنياً، وفي هذا الإطار جاءت المرجعيات التي تم الاستناد إليها، وفي طليعتها وثيقة الاستقلال والقانون الأساسي الفلسطيني، بالإضافة إلى وثيقة المنهاج الوطني الأوَّل؛ لتوجّه الجهد، وتعكس ذاتها على مجمل المخرجات.

ومع إنجاز هذه المرحلة من الجهد، يغدو إزجاء الشكر للطواقم العاملة جميعها؛ من فرق التأليف والمراجعة، والتدقيق، والإشراف، والتصميم، وللجنة العليا أقل ما يمكن تقديمه، فقد تجاوزنا مرحلة الحديث عن التطوير، ونحن واثقون من تواصل هذه الحالة من العمل.

**وزارة التربية والتعليم العالي**

**مركز المناهج الفلسطينية**

**كانون أول / ٢٠١٧**

# مقدمة

تسعى وزارة التّربية والتّعليم العالي بشكل دؤوب ومستمر إلى مواكبة التطور التكنولوجيّ الحديث خاصة في مجال تطوير تخصصات تقنيّة ومهنيّة عصريّة تؤسس لبناء جيل جديد يتسلح بآخر ما توصّل إليه العالم في مجال العلوم والتكنولوجيا، للنهوض بالعملية التعليمية التعلمية والإسهام في بناء مجتمع متقدّم قادر على توفير فرص عمل تلبّي احتياجات سوق العمل، وتطوير الموارد بأشكالها المتنوّعة، وذلك من خلال تحديث المنهاج الفلسطينيّ بما يتلاءم مع التطور التكنولوجيّ الحاصل في فلسطين ومحيطها الإقليميّ والدوليّ.

ويؤسس هذا الكتاب لاستيعاب المفاهيم الأساسية النظرية لدراسة مصادر الطّاقة المتجددة الحديثة، كتوليد التّيار الكهربائيّ عبر استخدام الخلايا الكهروضوئيّة (الخلايا الشّمسيّة) أو باستثمار طاقة الرياح والطّاقة الحيويّة، حيث يبدو المستقبل واعداً في هذا المجال الحيويّ والمهم، كيف لا، وتخصص «الطاقة المتجددة» يشكّل النّواه الأساسيّة لأيّ اقتصاد فلسطينيّ مستقل وحديث بالاستناد إلى الأسس العلمية الصّحيحة.

يتناول هذا الكتاب المفاهيم النظرية لتخصص الطّاقة المتجددة من خلال وحدات أساسية ثلاث، تتطرق الوحدة الأولى الى المنظومة الكهربائية وأجهزة الحماية من حيث السلامة المهنية في التمديدات الكهربائية المختلفة، كما تعرض هذه الوحدة بعض مكونات الشبكة الكهربائية من كوابل النقل وأجهزة الحماية المختلفة مثل القواطع الكهربائية بالاضافة الى أنواع هذه الحمايات ومكان استخدام كل منها وتحليل المعلومات الفنية الخاصة بكل نوع، وفي هذه الوحدة أيضا يتم شرح أنواع الكوابل المختلفة ومكان استخدام كل منها وتركيبها الداخلي كما تناولت أيضاً أنواع عوازل الكابلات وخصائص كل نوع عزل، وتطرقت الوحدة أيضاً الى تكامل هذه المكونات مع بعضها والشروط والمحاذير التي يجب اتخاذها في هذا التكامل من تراتبية وسعة امبيرية الى هبوط الجهد في الموصلات المستخدمة.

وتطرقت الوحدة الثانية إلى «التمديدات المنزلية» والتي تعتبر العمود الفقري لتوزيع الطاقة في المنشآت، حيث تناولت موضوعات الوحدة أنظمة التأريض المختلفة من حيث تصميمها وتنفيذها على الوجه الصحيح، هذا بالاضافة الى الأنواع المختلفة لأنظمة التأريض ودواعي استخدام كل منها والمحاذير المرتبطة بكل نوع. تتناول الوحدة أيضاً مراحل تنفيذ التمديدات الكهربائية المنزلية ابتداءً بتركيب القنوات البلاستيكية داخل الاعمال المدنية والجدران وصولاً الى سحب الكابلات والاسلاك لمختلف الأنظمة الكهربائية وصولاً الى تصميم وتنفيذ اللوحات الكهربائية، كما تتناول الوحدة أيضاً فحص كافة التمديدات الكهربائية من حيث العازلية وقيم نظام التأريض لضمان سلامة وجودة منظومة التمديدات الكهربائية.

أما الوحدة الثالثة المعنونة بـــ» تكنولوجيا الطاقة المتجددة» فقد اهتمت بمفهوم الطاقة المتجددة ومقارنتها مع الطاقات التقليدية، وبينت أيضاً الاثار السلبية التي تنتج عن استخدام الطاقة التقليدية مثل ظاهرة الاحتباس الحراري وكيف تمكنت الطاقة المتجددة من طرح حلول لهذه السلبيات، تناولت الوحدة أيضاً أنواع الطاقة المتجددة مثل الطاقة الشمسية بشقيها الحرارية والضوئية وطاقة الرياح وكيفية تطبيقها على مستويات توليد ضخمة وطاقة الأمواج والمد والجزر وصولاً الى طاقة الكتلة الحيوية والطاقة الحرارية الجوفية، وتناولت الوحدة أيضاً واقع وتحديات الطاقات المتجددة من محدودية التكنولوجيا التي تدعمها مروراً بالتشريعات التي تتعلق بالطاقة الشمسية في انحاء العالم وفي فلسطين على وجه الخصوص.

تم بحمد لله إنجاز هذا الكتاب بجهود دؤوبة من قبل فريق عمل متميّز، ليكون في العام الأول من إصداره نسخة تجريبية تحتاج إلى التنقيح والتعديل بناء على التّغذية الراجعة البناءة الواردة من ذوي الخبرة والعطاء في الميدان التربويّ، فكلنا ثقة بخبرات زملائنا المعلمين وأبنائنا الطلبة وإخواننا أولياء الأمور وذوي الخبرة جميعهم أن يرفدونا بملحوظاتهم ومقترحاتهم البناءة وتزويدنا بها في الإدارة العامة للمباحث العلمية/ مركز المناهج؛ مما يُسهم في تجويد العمل وإثرائه لما فيه خدمة المصلحة العامة للطلبة وبما يحقق التّعلم النوعيّ المستدام.

المؤلفون

# المحتويات


**الوحدة الأولى: المنظومة الكهربائية وأجهزة الحماية**

| | | |
|---|---|---|
| الدرس الأول: | السلامة المهنية والحماية الكهربائية | ٤ |
| الدرس الثاني: | المنظومة الكهربائية | ١١ |
| الدرس الثالث: | المواصفات الفنية للكوابل الكهربائية | ١٥ |
| الدرس الرابع: | قواطع الدارة الكهربائية والمصهرات | ٢٢ |
| الدرس الخامس: | تحديد السعة الأمبيرية وهبوط الجهد | ٣٣ |

**الوحدة الثانية: التمديدات الكهربائية**

| | | |
|---|---|---|
| الدرس الأول: | أنظمة التأريض | ٤٦ |
| الدرس الثاني: | مراحل تنفيذ أعمال التمديدات الكهربائية ومواصفاتها | ٥٣ |
| الدرس الثالث: | قراءة مخططات التمديدات الكهربائية | ٥٩ |
| الدرس الرابع: | لوحات التوزيع الكهربائية وحارفات الصواعق | ٧٠ |
| الدرس الخامس: | فحوصات التمديدات الكهربائية | ٧٤ |

**الوحدة الثالثة: تكنولوجيا الطاقة المتجددة**

| | | |
|---|---|---|
| الدرس الأول: | الطاقة المتجددة والطاقة التقليدية | ٨٢ |
| الدرس الثاني: | توليد الطاقة الكهربائية من مصادر الطاقة المتجددة | ٩٠ |
| الدرس الثالث: | واقع وتحديات الطاقة المتجددة | ١٠٧ |

# الوَحـْـــــدة

# 1

# المنظومة الكهربائيّة وأجهزة الحماية

" في الاتحاد قوة "

## مقدمة الوحدة:

تنبع أهمية الطّاقة الكهربائية من سهولة نقلها، وتحويلها من شكل إلى آخر، فالطّاقة الكهربائية يمكن توليدها في أماكن بعيدة، ونقلها لحظياً إلى مناطق الاستهلاك، ليتم تحويلها إلى أشكال أخرى تخدم الهدف من استخدامها.

بالرغم من سهولة نقل الطّاقة الكهربائية نظرياً إلا أنها تحتاج إلى منظومة متكاملة لنقلها من مكان إلى آخر، وترتبط هذه العملية بتعقيدات عديدة، منها، تكلفة بنائها وحاجة أجزاء خطوط النقل والتّوزيع فيها إلى حمايات تمتد بدءاً من لحظة التوليد وانتهاءً بالمستخدم النهائيّ في المنازل، وتتلخّص مهمة هذه الحمايات بحماية شبكة النقل، وحماية مستخدمي هذه الشبكة.

يحمل المستقبل في طياته تحديات كبيرة لأنظمة النقل والحماية في الشّبكات، حيث يحتاج هذان النظامان إلى مواكبة العصر والتطورات الحاصلة على قطاع الطّاقة، مثل الطّاقة المتجددة، والحاجة إلى ضخّها في شبكة النقل في مناطق متفرقة، إضافة إلى إمكانية تعاملها مع شكلي الطّاقة الكهربائيّة المتردد والمستمر. وإن إمكانية تطور أنظمة النّقل والحماية للتّغلب على هذه المشكلات سينعكس بشكل أساسيّ على تكامل أنظمة الطّاقة التّقليدية والمتجددة في عصرنا الحاضر، وفي المستقبل القريب.

## أهداف الوَحْدة:

**يتوقع من الطّالب في نهاية هذه الوحدة أن يكون قادراً على:**

1. التّعرف إلى أهمية الأمن والسلامة المهنية.
2. تحديد أثر التّيار الكهربائيّ على جسم الإنسان.
3. التّعرف إلى المنظومة الكهربائية ومراحلها.
4. التّمييز بين أجهزة الحماية الكهربائية المختلفة.
5. قراءة المواصفات الفنية للكوابل الكهربائيّة والأسلاك.
6. التّعرف إلى مفهوم السّعة الأمبيرية للكوابل وهبوط الجهد.
7. التّمييز بين القواطع الكهربائيّة والمصهرات.

# 1 الدرس الأول السّلامة المهنية والحماية الكهربائيّة

يعدّ اتباع تعليمات الأمن والسّلامة المهنية واتخاذ الإجراءات اللازمة لذلك من أهم القواعد التي يجب أخذها بالاعتبار من قبل الفنين والمهندسين والعاملين جميعهم في بيئة العمل على حدٍ سواء، وتتمثّل أهمية السلامة المهنية في تحقيق أهداف إنسانية، واقتصادية، وصحية، من خلال اتباع قواعد وإرشادات ومواصفات معينة يتم تحديدها من قبل الدولة، أو من دول عديدة مجتمعه، أو أية مؤسسة محلية أو حتى على مستوى الفرد.

**السّلامة المهنية:** هي اتخاذ مجموعة من التّدابير والإجراءات الوقائية، والأساليب الهندسية والتصميمية والتثقيفية لتجنب وقوع الحوادث؛ بقصد حماية الأشخاص والممتلكات والبيئة من المخاطر المحتمل حدوثها قبل العمل وأثنائه وبعده.

يتم تحقيق السلامة المهنية في التمديدات الكهربائية باتباع السّلوكيات الآتية:

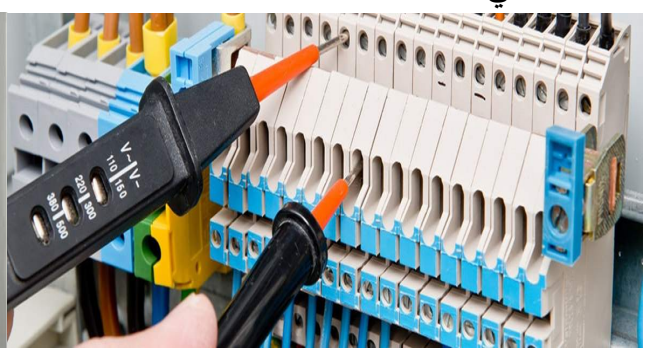
**أولاً: اتباع القواعد العامة لسّلامة التّركيبات الكهربائية.**

أ) تجنب حدوث تماس بين الموصلات الكهربائية، بغرض تجنب حدوث الحرائق.

ب) الاختيار السّليم للمعدات الكهربائية من جهد وتيار تشغيل مناسبين.

ج) لا يجوز القيام بتركيب، أو فحص، أو إصلاح المعدات والدّارات الكهربائية إلا للأفراد المستوفين لشروط الخبرة، والمعرفة الفنية، وغير ذلك من المتطلبات التي تحددها الهيئات المختصة

د) فحص واختبار التمديدات الجديدة واختبارها أو توسعة التمديدات القائمة قبل تشغيلها بشكل نهائي.



**ثانياً: اتباع الإرشادات العامة لحماية المستخدم من خطر التّكهرب.**

أ) فصل التّيار الكهربائيّ نهائياً عن الجهاز المراد إصلاحه أو الدارة المراد العمل بها، وتجنب عدم إعادة توصيلها، ثم التأكد من عدم وجود تيار كهربائيّ باستخدام أجهزة القياس.

ب) استعمال العدد المعزول ولبس الأحذية المعزولة، والتأكد من وجود التأريض المناسب.

ج) إعادة توصيل التّيار الكهربائيّ بحذر شديد، وتغليف مصدر الجهد بأغطية بلاستيكية مناسبة.

| | |
|---|---|
| نشاط(1): | ابحث في (الشّبكة العنكبوتية) عن مخاطر العمل في التّمديدات الكهربائية، وأهم وسائل الحماية المستخدمة لتجنب حدوثها. |

**ثالثاً: استخدام التّجهيزات الخاصة لتقليل الخطر الكهربائيّ على جسم الإنسان.**

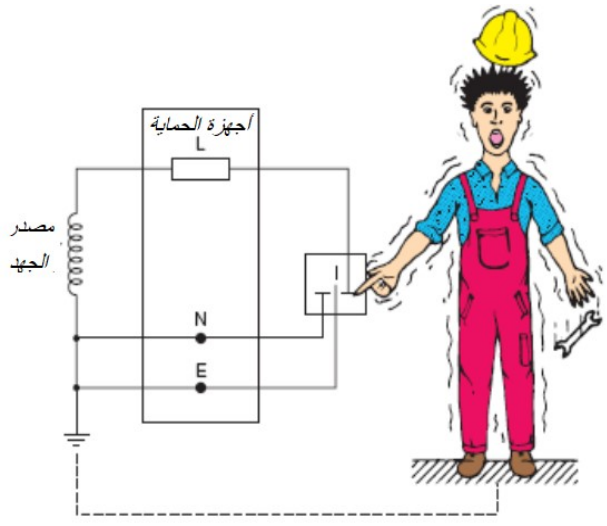
يمكن أن يتعرض جسم الإنسان إلى تيار كهربائيّ يسري في جسمه نتيجة عاملين رئيسيين:

1) تماس مباشر (Direct contact): ملامسة أجزاء من الدارة الكهربائية يسري فيها تيار كهربائيّ، حيث يتم توصيل التّيار بشكل مباشر للإنسان.
2) أسباب غير مباشرة (Indirect contact): ملامسة أجزاء موصلة للتّيار الكهربائيّ في الدائرة الكهربائية، لا يسري فيها في حالتها الطبيعية تياراً كهربائياً، مثل الجسم المعدني لجهاز.

**آثار التّيار الكهربائيّ على جسم الإنسان.**

تصيب الصّدمة الكهربائية الإنسان والحيوان بإصابات بليغة قد تؤدي إلى الموت فيما يعرف **بالصّعقة الكهربائية.**

يوضّح الشكل المجاور، كيفية اتصال جسم الإنسان الواقف على الأرض مع موصل يحمل تياراً، مما يجعل جسمه جزءاً من الدائرة الكهربائيّة والذي يعرضه لخطر حدوث الصّعقة الكهربائيّة.



**تتوقف درجة الإصابة بالصّدمة الكهربائيّة على:**

1. مقدار التّيار المار في جسم الإنسان.
2. مسار التّيار المار في جسم الإنسان، مثلاً إذا كان التّلامس عند قدم المصاب فمسار التّيار يكون من نقطة التلامس الأقرب إلى الأرض، أما إذا كانت نقطة التّلامس مثلاً في الرأس فقد تحدث ضرراً أكبر من الحالة الأولى.
3. عازلية الجسم للتّيار عند حدوث التّلامس، فمثلاً مقاومة الجسم الرطب أقل بكثير من مقاومة الجسم الجاف.
4. مقدار الجهد المطبق على الجسم الملامس، حيث يبدأ الخطر على جسم الإنسان إذا ارتفع الجهد عن (50) فولتاً AC أو (120) فولتاً DC، بسبب زيادة مقدار التّيار المار في الجسم نتيجة ارتفاع جهد المصدر.
5. تردد التّيار (50 أو 60 هيرتزاً)، حيث إن العلاقة عكسية بين درجة الإصابة ومقدار تردد تيار المصدر إذ تتناقص خطورة الضرر عند تردد(450 – 500) كيلوهيرتز.
6. مدة سريان التّيار في جسم الشخص الملامس، حيث تتناقص مقاومة جسم الإنسان مع مرور الزمن بسبب حروق الجلد وتوقّف القلب عن العمل نتيجة تأيّن خلايا الدم.

**والجدول الآتي يبيّن تأثير التّيار الكهربائيّ على جسم الإنسان تبعاً لقيمة التّيار المار في الجسم:**

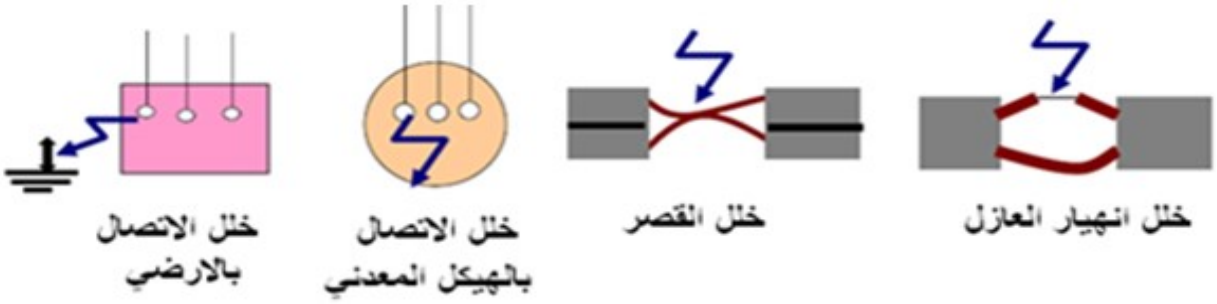
| قيمة التّيار (mA) – ميلي أمبير | التّأثير عل الجسم |
|---|---|
| 1 | بداية الإحساس بالتّيار |
| 20 | إحساس بالألم |
| 30 | انقباض عضلي |
| 50 | صعوبة بالتّنفس |
| 100 | توقف التّنفس |
| 200 | حروق شديدة |
| أكبر من ذلك | موت |

ويجب ألا يتعدى مقدار التّيار المار في جسم الإنسان (30) ملي أمبيراً في أيّ حال من الأحوال لأن الخطر الحقيقيّ على الإنسان يبدأ عند هذا التّيار، كما هو مبين في الجدول أعلاه، وهذا يفسّر القيمة المحددة لقاطع التّسرب الأرضي المستخدم في التمديدات المنزلية الذي يتم صنعه من قبل معظم الشركات.

**الأعطال الكهربائية (Electrical faults):**

يعرف العطل الكهربائيّ بأنه حدوث خلل في نظام الكهرباء نتيجة انهيار العازل أو حدوث قِصر دارة أو اتصال الخطّ الحار بهيكل الجهاز أو اتصاله بالأرض، مما يسبب حدوث خسائر مادية أو بشرية أو كلايهما. وبناءً عليه يجب الحدّ من وقوعه بمختلف الوسائل، حيث إن وسائل الحماية الكهربائيّة يجب أن تعمل على حماية عناصر المنظومة الكهربائية جميعها ابتداءً من مصدر التّغذية وانتهاءً بالحمل الكهربائيّ، ويمكن اختصار بعض أنواع الأعطال الكهربائية التي قد تحدث لنظام كهربائيّ بما يلي:

1) ***خلل العزل:*** اهتراء العازل أو تلفه لسبب ما، ذلك يؤدّي إلي تعرية الموصل الحامل للتّيار الكهربائيّ مما يسبب خطورة بالغة على الأشخاص أو الأجهزة المتصلة به.
2) ***خلل القصر:*** اتصال الأجزاء الحاملة للجهد الكهربائي مع بعضها بعضًا نتيجة حدوث خطأ ما، ما يؤدّي إلى مرور تيار كبير جداً في الدارة لا تتحمله الموصلات، لانخفاض كبير في قيمة المقاومة.
3) ***خلل الاتّصال بالهيكل المعدنيّ للجهاز:*** اتصال أو تلامس جزء حامل للجهد مع هيكل المعدنيّ.
4) ***خلل الاتّصال بالأرضي:*** ونعني به اتصال أيّ من الموصلات الحاملة للتّيار الكهربائيّ بالأرض أو بأجزاء موصله بالأرض نتيجة خلل ما.




أنواع الخلل في التّجهيزات الكهربائيّة المختلفة

**ويمكن أن ينتج عن هذه الأنواع من الأعطال الكهربائيّة ما يأتي:**

1. حدوث قصر دارة مما يؤدي إلى زيادة كبيرة جداً في التّيار (short circuit current).
2. تحميل زائد عن الحد المسموح (overload current).
3. هبوط في الجهد (voltage drop).
4. انهيار في العازل نتيجة الحرارة المفرطة، وبالتالي حدوث حرائق.
5. تلف كلي أو جزئي في عناصر الدارة الكهربائيّة.

## الحماية الكهربائية(Electrical Protection):

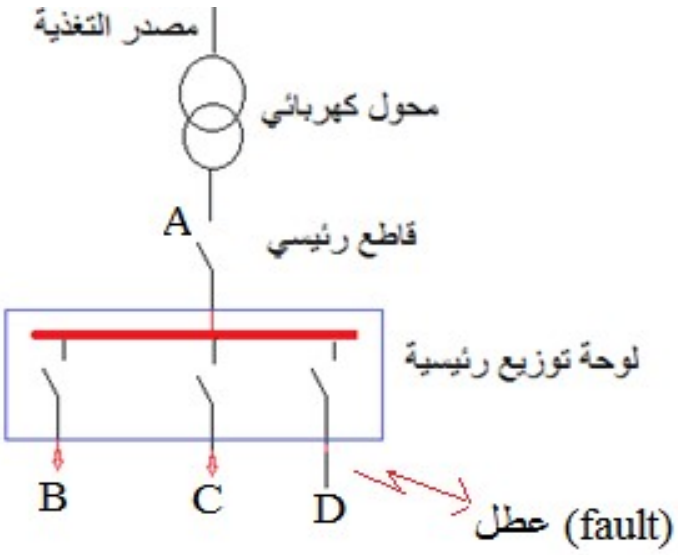
تعدّ الحماية الكهربائية من أهم مكونات المنظومة الكهربائية، ويمكن التّعبير عنها بعملية توصيل التّيار الكهربائيّ إلى الحمل الكهربائيّ بطريقة آمنة وسليمة، مما يتطلب استخدام مجموعة من الأجهزة الدقيقة والفاعلة واتباع مجموعة من الإجراءات التي نسعى من خلالها للحفاظ على عدم انقطاع التّيار الكهربائي ما أمكن، ودون تعرض الأجهزة والمعدات للتّلف، وبصورة أهم دون تعرض الأشخاص الذين يتعاملون معها إلى أيّ خطر.

إن وسائل الحماية الكهربائيّة يجب أن تأخذ بالاعتبار حماية عناصر المنظومة الكهربائية جميعها ابتداءً من مصدر التغذية، وانتهاءً بالحمل الكهربائي، إضافة إلى حماية العنصر البشري. وعليه فهناك مجموعة من الشروط العامة التي يجب مراعاتها لأجهزة الحماية النحو الآتي:

### ➢ *الشروط العامة لأجهزة الحماية:*

1- **الانتقائية أو التّمييز (Discrimination):** وهي أن يتمكن عنصر الحماية الأقرب إلى نقطة العطل من فصل الدائرة الكهربائيّة التي حصل فيها ذلك العطل دون فصل الدوائر الكهربائية الأخرى. إن الأجهزة الرئيسية ذات العلاقة بالتنسيق الانتقائي هي (المصهرات، قواطع الدارة، قواطع التّسريب الأرضي).

ويمكن توضيح مفهوم الانتقائية بالمثال الآتي: في الشكل (3)، إذا كان زمن الاستجابة للقاطع الرئيسي (A) أعلى من زمن الاستجابة للقاطع (D)، فإن حدوث عطل عند الدائرة المتصلة بالقاطع (D) سيؤدي إلى تفعيله وفصل الدائرة المتصلة به فقط، بينما يبقى القاطع الرئيسيّ (A) متصلاً ويعمل على تزويد الدوائر الأخرى (B) و (C) بالتّيار الكهربائيّ.




مخطط يوضح مفهوم التمييز

2- **سرعة الاستجابة:** وهي مقدار التأخير الزمني المرتبط بعنصر الحماية، ويجب التنسيق بين عناصر الحماية في اللوحة نفسها، حيث يكون منحنى خواص جهاز الحماية الأول أعلى (0.5 ثانية مثلاً)، من منحنى خواص جهاز الحماية الثّاني (0.2 ثانية مثلاً).

3- **الحساسية:** وتعرف بأنها أقل قيمة للتّيار الكهربائيّ تؤدي إلى تفعيل عنصر الحماية.

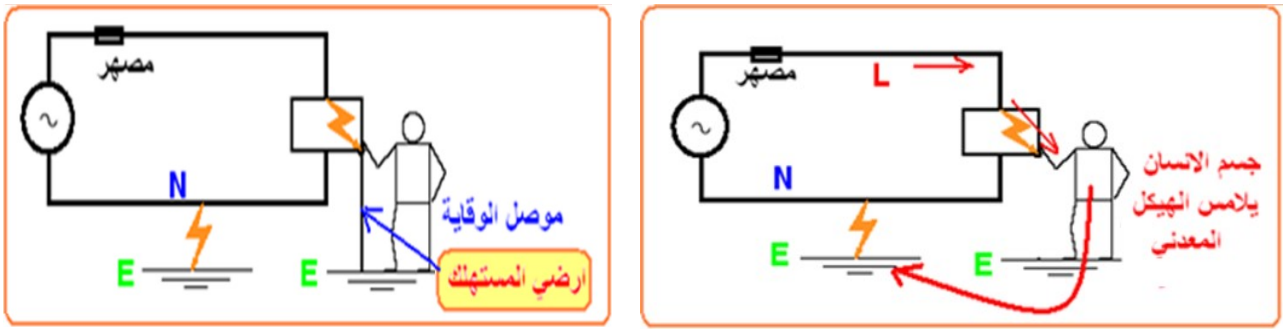
4- **الموثوقية:** ويقصد به قدرة عنصر الحماية على أداء وظيفته في الدائرة دون فشل تحت ظروف التشغيل المختلفة ضمن العمر الافتراضي (Life Ttime) للعنصر.

5- **الاستقرار:** ويقصد به أن العنصر يعمل بشكل ثابت بغض النظر عن ظروف التّشغيل غير الطبيعية، حيث إنه لا يتأثر بالأعطال التي تحدث في الدوائر الأخرى.

| **سؤال:** | بين دور وسائل الحماية في تحديد مكان حدوث العطل في المنزل؟ |
|---|---|

### التأريض كوسيلة حماية

يعد التأريض من أهم وسائل الحماية في التّمديدات الكهربائيّة، حيث يلعب دوراً مهماً في استجابة أجهزة الحماية، وكذلك حماية الإنسان من الصّدمة الكهربائية، فعند عدم وجود خط التأريض في الأجهزة الكهربائية وحدث خلل كهربائي وقام أحد الأشخاص بملامسة مباشرة للهيكل المعني للجهاز فإن مسار التّيار الكهربائي الوحيد سيكون عبر جسم الشخص، أي أن الشخص سيتعرض للصدمة الكهربائيّة، وتعتمد شدتها على مقدار ذلك التّيار وعلى كل من مقاومة جسمه ومقاومة الأرضي، فكلما **قلت** قيمة هذه المقاومة **زادت** قيمة التّيار المار في جسم ذلك الشخص **وزادت** خطورة الإصابة.




أما في حال وجود خطّ موصل الوقاية(الإرث) متصل بالأرض، يكون مسار التّيار المار هو من خلال خط (الإرث) مباشرة إلى الأرض ولا يمر تيار كهربائي في جسم الإنسان إلا بنسبة قليلة يمكن إهمالها إذا كانت مقاومة الأرضي قليلة بما يكفي، وهذا ما يدفع أجهزة الحماية إلى الاستجابة الفورية وفصل التّيار الكهربائي.

نستنتج مما سبق، بأنه يجب توصيل الأجهزة الكهربائية جميعها المصنوعة هياكلها من مادة معدنية(موصلة للتّيار الكهربائيّ) بالأرض من خلال خطوط التأريض ليصبح جهدها صفراً، حتى ولو اتصلت عن طريق الخطأ بالخط الحامل للتّيار، وبالتالي يؤدي ذلك إلى تفعيل أجهزة الحماية المناسبة كقاطع الحماية.

ويمكن إجمال فوائد التأريض الجيد بما يلي:

1) حماية الأفراد من خطر الصّدمة الكهربائية الناتج عن قصور العزل أو انهياره.
2) يحمي من خطر التّفريغ الكهربائيّ.
3) يحمي المعدات من أضرار التّغيرات المفاجئة والكبيرة في جهد الصعقة (Voltage Surges).
4) يؤمن تشغيلاً مناسباً للمعدات والمنظومات الكهربائيّة.
5) يؤمن تشغيلاً مناسباً للمعدات ومنظومات التّشغيل الكهربائيّة المختلفة نتيجة المحافظة على جهد تشغيل معلوم القيمة.

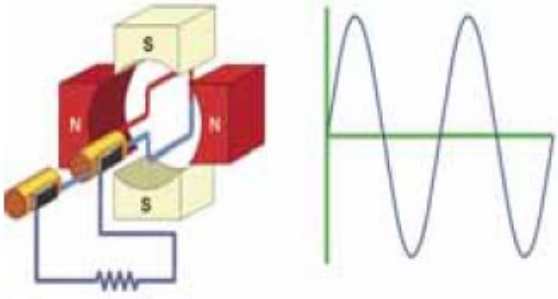
| **أسئلة الدرس:** | |
|---|---|
| 1- | وضّح المقصود بالسّلامة المهنية. |
| 2- | كيف يمكن تحقيق السّلامة المهنية في التّركيبات الكهربائية؟ |
| 3- | وضّح المقصود بالعطل الكهربائيّ ذاكراً أنواعه. |
| 4- | اذكر الشّروط العامة التي يجب توافرها في أجهزة الحماية؟ |
| 5- | وضّح آلية استخدام التأريض كوسيلة حماية؟ |

| 2 | الدرس الثّاني: | المنظومة الكهربائيّة |
|---|---|---|

تعتبر المنظومة الكهربائية السبب الرئيسيّ الحالي للتّيار الكهربائيّ الذي يصل إلى بيوتنا، حيث يتم توليد الطّاقة الكهربائيّة في محطات التّوليد الكهربائيّة من مصادرها المتجددة وغير المتجددة، ومن ثم يتم نقل الطّاقة الكهربائية من أيّ نقطة بواسطة ناقلات التّيار الطّاقة الكهربائية إلى أن تصل إلى المستهلكين ليتم الاستفادة منها بمختلف الطّرق، فما مكونات النّظام الكهربائيّ؟

## توليد الطّاقة الكهربائيّة (Generation):

يتم توليد الطّاقة الكهربائيّة من مصادر مختلفة على سطح الأرض، إذ إنه يمكن توليدها من مصادرها المتجددة، مثل الشّمس والرياح وباطن الأرض، ومن مصادرها غير المتجددة كالوقود الأحفوري من النفط والغاز والفحم الحجري التي تتفوق إلى يومنا هذا على مصادر الطّاقة المتجددة كمصدر لإنتاج الكهرباء، وذلك لوفرتها، وانخفاض ثمنها، ولكن ما يجدر الإشارة إليه أن هذه المصادر يوماً ما ستنفد ولن يكون هناك وقود أحفوري، ولذلك يجب الاهتمام بمصادر الطّاقة الأخرى التي بدورها أيضاً صديقة للبيئة، وتحدّ من التّلوث. ولكن السؤال الآن، كيف يتم إنتاج الكهرباء من تلك المصادر؟

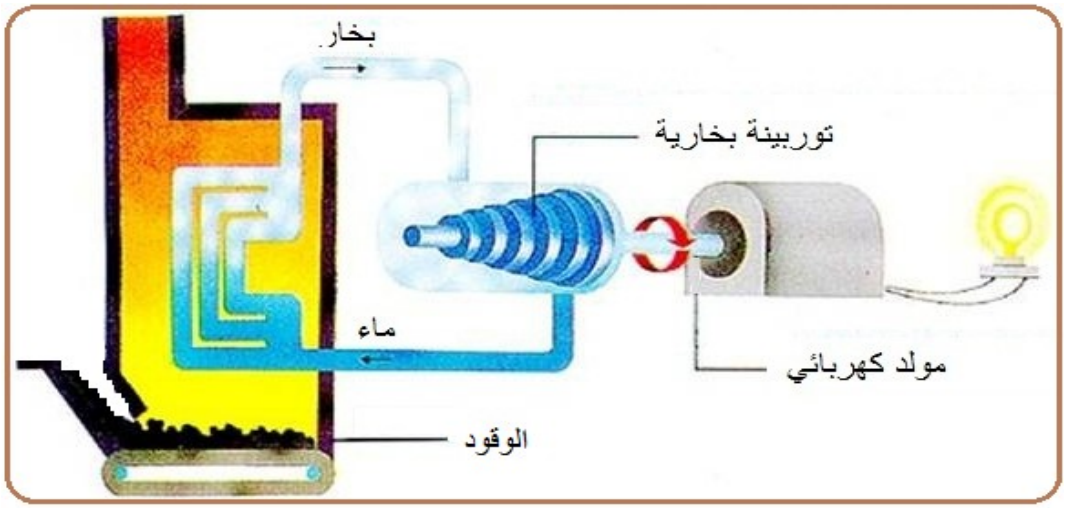


مبدأ آلية توليد الطّاقة الكهربائية

تعتبر المولدات الكهربائية هي العنصر الأساسيّ في عملية توليد الطّاقة الكهربائية وخصوصاً من مصادرها غير المتجددة، حيث تعتمد في عملها على ظاهرة التأثير الكهرومغناطيسي، وتدور الموصلات (ملفات المولد) داخل المجال المغناطيسيّ؛ فيتولد فيها بالتأثير قوة دافعة كهربائية، كما هو موضّح في الشكل المجاور.

وعليه فإن المولدات الكهربائيّة تحتاج بشكل رئيسيّ إلى الطّاقة الحركية التي بدورها تقوم بتحريك عنفات توربينات المولد لتوليد الطّاقة الكهربائية من خلال دوران ملفات المولد في مجاله الداخلي. ولكن كيف يمكن أن نحصل على الطّاقة الحركيّة؟

يمكن الحصول على الطّاقة الحركيّة من خلال حركة المياه، كمولدات السدود أو حركة الرياح، كالمولدات الهوائية أو حركة بخار الماء المضغوط، كالمولدات البخارية، حيث يتم استخدام مصادر الطّاقة لتسخين المياه لإنتاج بخار الماء ذي الضّغط العالي، والذي يقوم بتحريك توربينات بخارية ضخمة لتوليد الكهرباء، أما المولدات الأصغر حجماً فيتم استخدام مولدات الديزل.

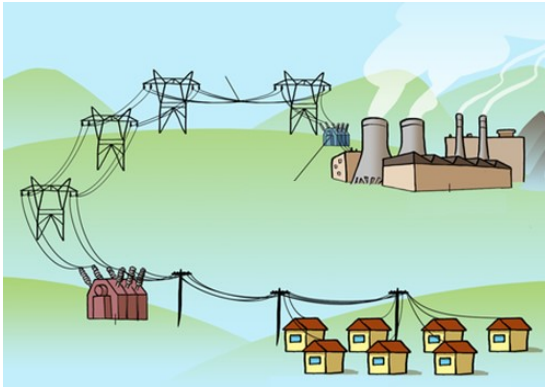



مبدأ عمل المحطات الوقود الأحفوري.

### نقل الطّاقة الكهربائيّة (Transmission):

تعتبر محطات الطّاقة الكهربائيّة التقليدية محطات طاقة منتجة للضوضاء وملوثة للبيئة، لذلك عادة ما يتم بناؤها في المناطق النائية والبعيدة عن أماكن تواجد السكان، وعليه فإننا نحتاج إلى عملية نقل الطّاقة من مناطق توليدها إلى المستهلكين، علما بأن مولدات الطّاقة الكهربائية تنتج جهداً يتراوح من (6.6 إلى 25) كيلو فولتا. ولنقل هذه الطّاقة من نقطة إلى أخرى فإننا نحتاج إلى رفع هذه الفلتيات إلى فلتيات عالية جداً تصل إلى (132) كيلو فولتاً أو أكثر، وذلك للأسباب الآتية:

1) يتم رفع الفلتية لينخفض التّيار الكهربائيّ، وذلك لتقليل القدرة المفقودة (خسائر) في خطوط النقل.
2) تقليل هبوط الجهد في الأسلاك.
3) تقليل التكاليف من خلال استخدام أسلاك بمساحات مقطع أصغر.



وتتم هذه العملية من خلال محولات رفع الجهد الكهربائيّ، المرتبطة بخطوط نقل الجهد العالي الهوائية، ليستقبلها محولات خفض الجهد التي تقلل الجهد إلى جهد متوسط (33 أو 11) كيلو فولتا بالقرب من المناطق السكانية، بعد ذلك يتم توزيع الطّاقة الكهربائية من خلال محولات التّوزيع التي تقوم بدورها بخفض الجهود إلى جهود منخفضة (230–400) فولتا. الجدول (1) يوضّح تصنيفات مستويات الجهود في النظام الكهربائيّ.

الجدول (1): تصنيفات جهود النظام الكهربائي

| اسم تصنيف الجهد | الجهد الاسمي |
|---|---|
| الجهد المنخفض(Low voltage) | (0-1000) V |
| الجهد المتوسط (Medium voltage) | (1-66) KV |
| الجهد العالي(High voltage) | (66-375) KV |
| الجهد الزائد(Extra High voltage) | (375-750) KV |
| الجهد الفائق(Ultra High voltage) | أعلى من750KV. |

نشاط(1): ابحث في (الإنترنت) عن مخاطر العمل مع الجهود المرتفعة و الهدف من استخدامها.

## توزيع الطّاقة الكهربائيّة (Distribution):

بعد مرحلتي التوليد ونقل الطّاقة الكهربائية يتم توزيع التّيار الكهربائي على المستهلكين، وهناك نوعان من آليات التوزيع، هما: طريقة التوزيع الحلقية، وطريقة التوزيع التشعبي.

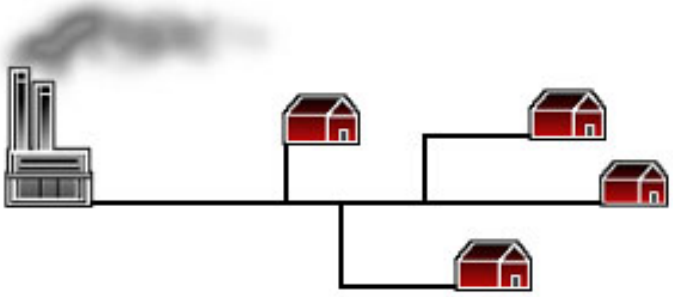
### أ- التّوزيع الحلقي (Ring Distribution)

يعتبر نظام التوزيع الحلقي نظاماً مغلقاً، لأن عملية التغذية تتم من محولي توزيع رئيسية، ثم إلى مجموعة من المحولات الفرعية المرتبطة معاً على شكل حلقة، حيث يتم تغذية كلّ محول فرعي من مصدرين للتغذية في حال انقطع المصدر الأول يعمل الآخر، ولا تتم التغذية من المصدرين معاً في الوقت نفسه، إنما تتم من مصدر واحد فقط، ويمتاز نظام التّوزيع الحلقي بعدم تأثّر عدد كبير من الأحمال المربوطة عليه عند حدوث قطع أو خلل أو قصر دارة في أي نقطة على خطّ التغذية. فإذا انقطع خطّ التّغذية لحمل من مصدر يستمر سريان التّيار الكهربائيّ من المصدر الآخر. ومن عيوب نظام التوزيع الحلقيّ ارتفاع تكاليف إنشائه وصيانته. والشكل الآتي يوضّح آلية التّوزيع الحلقيّ.

نظام التوزيع الحلقي

ب- التّوزيع التّشعبي (Radial Distribution):

يعتبر التّوزيع التشعبيّ نظاماً مفتوحاً، حيث تتم عملية التّغذية من محول توزيع رئيسي إلى الأحمال التالية له جميعها، كما في الشكل التالي. ويمتاز هذا النظام بقلة تكاليف إنشائه وصيانته مقارنة بسابقه، ومن عيوب هذا النظام أنه إذا حدث قطع أو خلل أو قصر دائرة في أي نقطة في خطّ التغذية فإنه يؤدّي إلى انقطاع التّيار الكهربائيّ عن عدد كبير من الأحمال المربوطة، خاصة إذا كان مكان العطل قريباً من مصدر التّغذية الذي تخرج منه خطوط التّغذية.

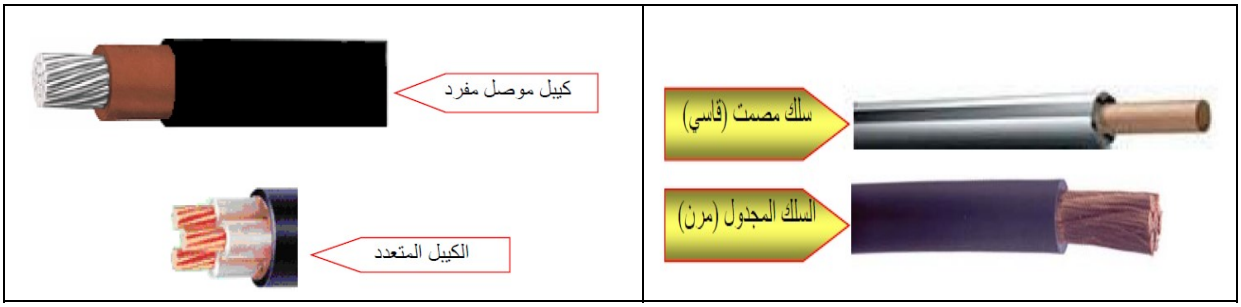


نظام التّوزيع التّشعبي

| أسئلة الدرس: | |
|---|---|
| 1- | وضّح كيف تصل الكهرباء إلى منازلنا؟ وضّح مستعيناً بالرسم. |
| 2- | المولّدات الكهربائية تحتاج بشكل رئيسيّ إلى الطّاقة_____ التي يمكن الحصول عليها من خلال_____. |
| 3- | يتم توليد الطّاقة الكهربائية على جهود_____فولت. |
| 4- | عند نقل الطّاقة الكهربائية يتم رفع الجهد إلى جهود عالية، علل. |
| 5- | يتم توزيع الطّاقة الكهربائية بطريقتين، اذكرهما؟ |

عند الحديث عن الحماية الكهربائيّة، فإن الموصلات الكهربائيّة من كوابل وأسلاك ناقلة للتّيار الكهربائيّ تلعب دورا مهماً في الحماية من الأخطار التي قد تنشأ عن الأعطال التي تحدث للنظام الكهربائيّ. لذلك فإن تغذية الأحمال الكهربائية بشكل عام يتم من خلال الموصلات الكهربائية (أسلاك وكوابل) التي لا بد من حسن اختيارها بشكل جيد لنقل التّيار الكهربائيّ بشكل آمن، وذلك من خلال اختيار جيد لمواصفات الموصلات من معطيات القيم الاسمية للحمل من جهد وتيار. فما الفرق بين السلك والكابل الكهربائيّ؟

تصنع الأسلاك والكابلات الكهربائية من مواد موصلة تشكل الممر للتّيار الكهربائيّ، وتكون مغطاة بمواد عازلة للتّيار الكهربائيّ لحماية المستخدم والأجهزة على حد سواء من الصدمة أو التلف، وتكون بمواصفات تحددها الشركات الصانعة لها. ويعرف **السلك الكهربائيّ** بأنه موصل يستخدم في الدوائر الكهربائية لربط نقطة بأخرى، وغالباً ما يكون مصنوعاً من النحاس أو الألومنيوم، وما يميزه عن الكابل أن حجمه صغير نسبياً. وتستخدم كلمة **كابل** لوصف أي موصل حجمه كبير، ويتكوّن من عدد من الأسلاك المجدولة مع بعضها، ويوجد نوعان للكابلات، هما، كابل موصل مفرد يعدّ من أبسط الأنواع، وقد يكون الكابل متعدداً، إما من النوع القاسي المصمت أو مجدولاً، كما في الشكل(1)، وفي كثير من الحالات تكون الكوابل الكهربائية مدفونة تحت الأرض "كوابل أرضية".




أشكال الموصلات الكهربائية.

ويمكن تقسيم الكابلات الكهربائية بناء على نوع التّيار المنقول إلى:

1) كابلات التّيار الثابت.

إن استخدام كابلات التّيار المستمر في نقل الطّاقة الكهربائية بدلاً من التّيار المتردد ازداد الاهتمام به مؤخرا، نظراً للزيادة الكبيرة في الطلب على الطّاقة الكهربائية المنقولة وخاصة باستخدام جهود فائقة، لما لها من أهمية في تقليل كلفة النقل، حيث إن عدد كوابل التّيار الثابت المطلوبة أقل، إضافة إلى الفقد الكهربائي وذلك لأن المقاومة للتيار المستمر أقل بحوالي 20%من المقاومة للتيار المتردد؛ حيث مقاومة الكابل الناقل للتيار الثابت هي (R) فقط، أما في التّيار المتردد فيتم إضافة الأثر الحثي والسعوي ($X_L$, $X_C$) على قيمة المقاومة.

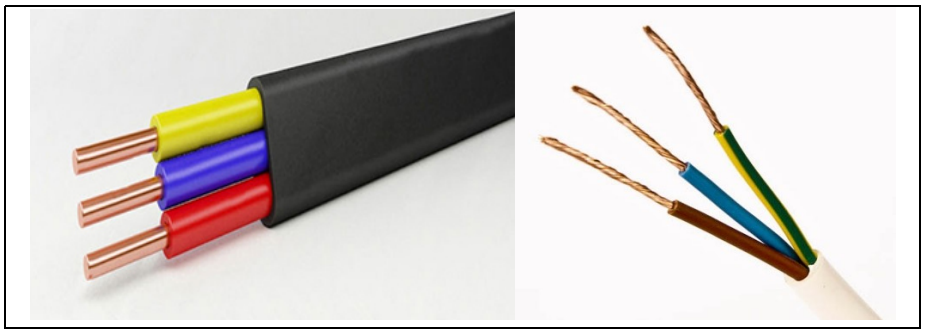
نشاط(1): ابحث عن استخدامات كوابل التّيار الثّابت في الأنظمة الشّمسية، وما أهم مواصفاتها؟

2) كابلات التّيار المتردد.

وتشمل كابلات التّيار المتردد ما يلي:

أ) كابلات أحادية الطور

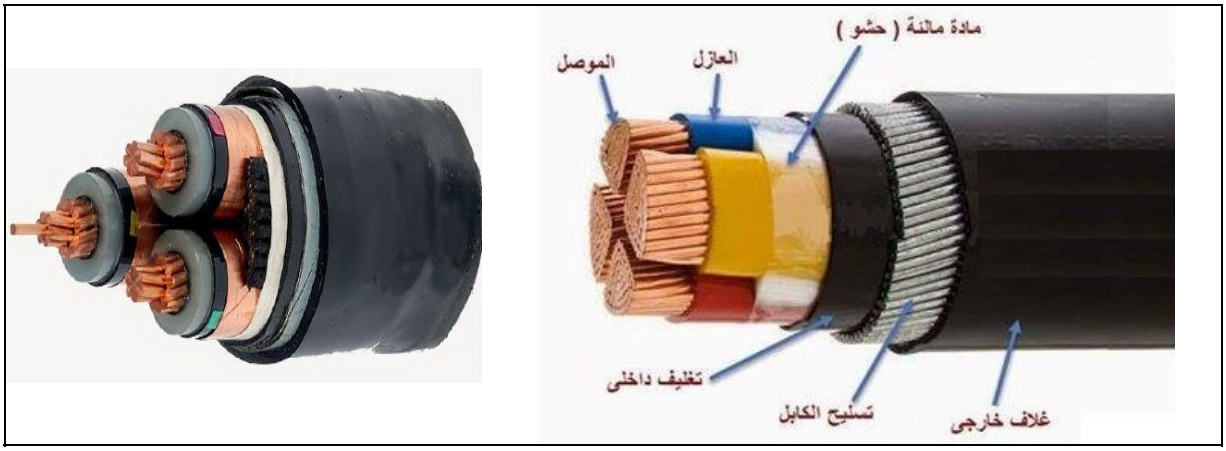
حيث تحتوي في الغالب على موصل مفرد واحد معزول أو كابل ذي موصلين اثنين أو ثلاثة، وتستخدم لتغذية حمل أحادي الطور، ومنها ما هو مصمت، ومنها ما هو مجدول، كما هو موضّح في الشكل(2).



كابلات أحادية الطور مصمت وأخرى مجدولة

**ب) كابلات ثلاثية الطور:**

تحتوي على ثلاثة موصلات أو أربعة أو خمسة، ويتم تصنفها بناء على عوامل عديدة، منها نوع الموصل الداخلي، ونوع العزل، وعدد القلوب، وجهد العمل، والشكل الآتي يوضّح بعض أشكالها.




أجزاء كوابل بقلوب محتلفة

يتكوّن الكابل بشكل أساسي من المادة الموصلة (القلب) والطبقة العازلة، وكلّ جزء من الكابل يتكوّن من مواد مختلفة، فالمواد **المستخدمة في صناعة الموصلات (conductors)** يتم اختيارها بناءً على اعتبارات عديدة، منها:

1. الموصلية الكهربائية للموصل ودرجة المرونة.
2. سهولة الحصول على الموصل بدرجة عالية من النقاوة.
3. انخفاض كثافة الموصل وبالتالي انخفاض وزنة.

وتصنع الموصلات الكابلات من مواد موصلة مختلفة، ويبيّن الجدول (1) بعض المعادن التي قد يصنع منها الموصل الذي يدخل في صناعة الكابلات الكهربائية وموصليتها بالنسبة للنحاس.

جدول (1): موصلية المعادن مقارنة بموصلية النحاس

| نوع المعدن | الموصلية الكهربائية | المقاومية (أوم.متر) |
|---|---|---|
| فضة | 106.3 | $16.4 \times 10^{-9}$ |
| نحاس | 100 | $17.5 \times 10^{-9}$ |
| ذهب | 73.8 | $21.2 \times 10^{-9}$ |
| ألومنيوم | 61.7 | $28.5 \times 10^{-9}$ |
| صوديوم | 35.4 | $16.4 \times 10^{-9}$ |
| حديد | 17.2 | $100.0 \times 10^{-9}$ |

يعدّ النحاس النقي (99.9%) المادة الأكثر شيوعاً في صنع موصلات الكابلات الكهربائية نظراً لموصليته العالية مقارنة بموصلية الألمنيوم (حيث إن المقاومة النوعية للنحاس أقل منها للألمنيوم) والتي تبلغ ثلثي موصلية النّحاس، لذا يستخدم في التمديدات الداخلية (كالتمديدات المنزلية ) إلا أن الألمنيوم يعتبر الأكثر استعمالاً في السنوات الأخيرة، خاصة في كابلات نقل القدرة العالية خاصة بعد التّغلب على صعوبة لحامه، فضلاً عن أن كثافة الألمنيوم تبلغ (30%) من كثافة النحاس، مما يمكنه من حمل ضعف القدرة التي يحملها موصل النحاس في حالة تساوي الوزن.

ترتبط مساحة مقطع الموصل مع قيمة مقاومته بعلاقة عكسية، فكلما زادت مساحة مقطع الموصل قلت قيمة مقاومته، وبالتالي زادت قدرته على نقل تيار أكبر، وهذه العلاقة تم التطرق إليها سابقاً.

$$R=\frac{\rho * L}{A}$$

**مثال:**

1) احسب مقاومة سلك مصنوع من النّحاس طوله (100 متر)، ومساحة مقطعه ($1.5mm^2$)، مع العلم أن مقاومة النّحاس النوعية تساوي ( $17.5 \times 10^{-9}$ ) أوم متر حسب الجدول المرفق أعلاه.

2) احسب مقاومة سلك مصنوع من الألمنيوم طوله (100 متر) ومساحة مقطعه ($1.5mm^2$)، مع العلم أن مقاومة الألمنيوم النوعية تساوي ( $28.5 \times 10^{-9}$ ) أوم متر.

سلك النحاس

$$R = \frac{\rho l}{a} \ (\Omega)$$

$$\therefore R = \frac{17.5 \times 10^{-9} \Omega \times 100 \text{ m}}{1.5 \times 10^{-6} \text{m}^2} = 1.16 \ \Omega$$

سلك الألمنيوم

$$R = \frac{\rho l}{a} \ (\Omega)$$

$$\therefore R = \frac{28.5 \times 10^{-9} \Omega \text{m} \times 100 \text{ m}}{1.5 \times 10^{-6} \text{m}^2} = 1.9 \ \Omega$$

**ملاحظة**: يتضح من المثال السّابق بأن مقاومة سلك مصنوع من الألمنيوم تزيد بمقدار (60%) $=\frac{1.9}{1.16}$ عن نفس طول ومساحة مقطع سلك مصنوع من النحاس له المواصفات نفسها. وعليه نستنتج أن استبدال سلك من النحاس بسلك آخر مصنوع من الألمنيوم له المواصفات نفسها، يجب أن تزيد مساحة مقطعه بمقدار (60%).

وتصنع عادة الكابلات الكهربائية المستخدمة في التمديدات المنزلية والتجارية وفي المباني العامة من موصلات دائرية نحاسية ومعزولة بمادة البولي فنيل كلوريد(PVC)، وتتراوح أحجامها من (1ملم مربع إلى 16ملم مربع أو أكثر) وهي كابلات أحادية القلب أو متعددة القلوب، ويمكن أن تكون من النوع المصمت أو المجدول، حيث يلاحظ أن موصل الكابل أحيانا من حزمة من الموصلات المتماثلة بدلاً من استخدام موصل واحد ذي قطر كبير (مصمت –SOLID) وذلك لإعطاء الكابل مرونة أكبر في التّخزين والنّقل وسهولة اللف على بكرات، ويسمّى هذا الموصل بالموصل المجدول (strand conductor).

| نشاط (1): | ابحث عن أسباب استخدام الكابلات المصمتة بدلاً من المجدولة. |
|---|---|

الجدول (2) يوضّح المقاسات المعيارية للأسلاك النحاسية وقيم التّيارات التي تتحملها.

| مساحة المقطع($mm^2$) | 1 | 1.5 | 2 | 2.5 | 4 | 6 | 10 | 16 | 25 | 35 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| التيار المقنن (A) | 11 | 14 | 16 | 18 | 22 | 30 | 35 | 50 | 63 | 80 |

### المواد المستخدمة في صناعة العوازل(cable insulation):

بما أن مساحة مقطع الموصل للسلك أو الكابل تحدد مقدار التّيار الذي يسمح له بالمرور من الكابل فإن درجة عزل الكابل تحدد قيمة الجهد الذي يعمل عنده هذا الكابل، وقد لا تنحصر مهمة العوازل في الكابلات لعزل الموصل الذي يحمل الطّاقة الكهربائية عن المحيط الخارجي الذي حوله، ليمنع خطر التّوصيل مع موصل آخر أو مع المحيط، إلا أن نوع العازل المستخدم يحدّ من السعة الأمبيرية للموصل، وبالتالي على قدرته على فقد الحرارة للوسط المحيط به.

ومن أشهر العوازل المستخدمة في الكابلات والتي قد يتم تصنيف الكابلات بناء عليها ما يلي:

1. **كابلات العوازل الورقية (paper insulation) :**

وهي الكوابل التي تكون معزولة بطبقة من الورق أو الورق المشبع بالزيت والتي تستخدم مع الجهود المتوسطة والعالية.

### 2. كابلات العوازل البلمرية(polymeric insulation):

تستخدم العوازل البلمرية (الصناعية) بشكل أوسع حديثاً. وهناك أنواع مختلفة منها، إلا أنه سيتم التّركيز على النوعين الآتيين لكثرة شيوعهما، وهما:

1- الكابلات المعزولة بالبولي فينيل كلوريد (PVC).

2- الكابلات المعزولة بمادة البولي اثيلين المتشابك الجزيئات (XLPE)

#### أ- الكابلات المعزولة بالبولي اثيلين فينيل كلوريد(PVC):

وهي مادة اصطناعية مستمدة من الموارد الطبيعية (النفط والملح) تشبه هذه المادة العازلة أحد المواد الشمعية في شكلها وملمسها، وتعدّ مادة عازلة جيدة للكابلات الكهربائية خاصة المستعملة في التّيار المتردد، وهي شائعة الاستخدام لتوفر العديد من الخصائص الكهربائية والطبيعية فيها التي تميّزها عن العوازل الأخرى من حيث:

1- تمتعها بمتانة كهربائيّة وميكانيكيّة عالية.

2- ارتفاع مقاومة العزل فيها.

3- انخفاض معامل الفقد لها.

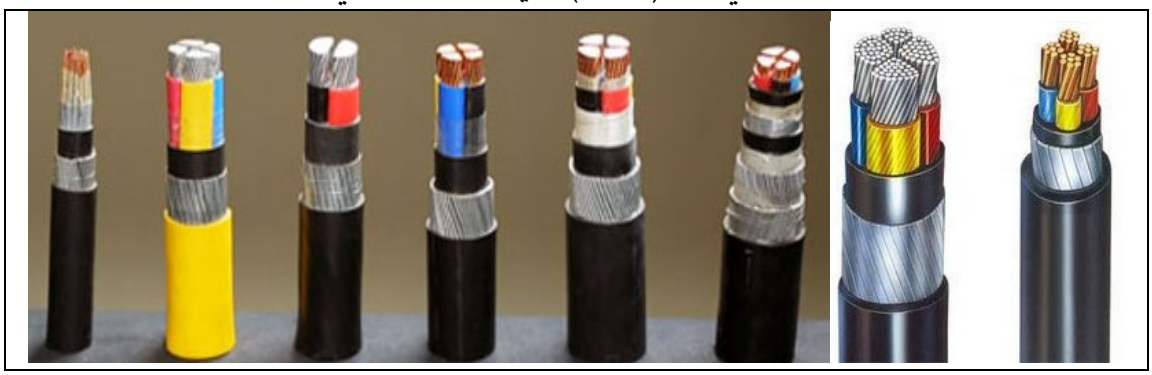
4- ارتفاع مقاومتها للحرارة وتصل حتى 70 درجة مئوية تشغيلية (حيث ينصهر العازل عند درجة حرارة 115 درجة).

والشكل الآتي يبيّن كابلاً معزولاً بمادة PVC( آحادي القلب ومتعدد القلوب ذا جهد منخفض).

كابل معزول بمادة PVC

#### ب- الكابلات المعزولة بمادة البولي إثيلين المتشابك الجزيئات(XLPE):

تستعمل مادةCross Linked Poly Ethylene(XLPE) كمادة عازلة بشكل متزايد وفي مدى واسع من الجهود وأكبر من تلك المستعملة في مادة(PVC)، ويبيّن الشكل الآتي بعض أشكال هذه الكابلات.



الكابلات المعزولة بمادة البولي اثيلين المتشابك الجزيئات

وتتمتع مادة (XLPE) بخصائص أفضل من مادة (PVC)، ومنها:

1- احتمالية فقد ضعيف للعزل الكهربائيّ.

2- تحملها لتيارات مقررة أعلى ومتانة كهربائية أعلى.

3- أكثر شيوعاً واستعمالاً للجهود العالية.

4- ذات خدمة عمرية طويلة ( لا تهرم بسرعة).

5- استقرارها عند درجات الحرارة العالية بالمقارنة مع مادة (PVC)، حيث تصل درجة حرارة تشغيله إلى 90 درجة مئوية، وتتحمل درجات حرارة قد تصل إلى 250 درجة في حالة القصر وذلك لفترة زمنية قصيرة. ومن المآخذ على هذا النوع من الكوابل ما يلي:

1- ارتفاع ثمنها.

2- صعوبة ثنيها وتداولها في المسارات الضيقة نظراً لقساوة عازلها.

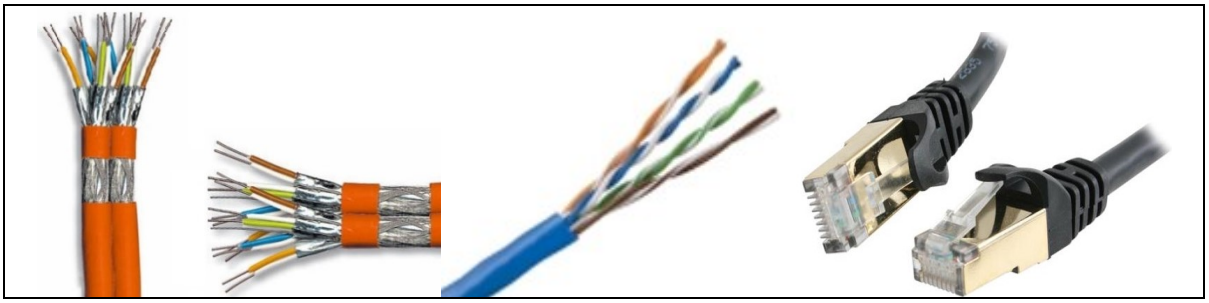
ويبيّن الشّكل الآتي كابلاً من نوع XLPE مجدولاً ذا جهد عال مصنوع من الألمنيوم، وآخر من النحاس.

كابل من نوع XLPE مجدول مصنوع من الألمنيوم والآخر نحاسي

| نشاط (2): | ابحث عن الكابلات التي تستخدم في السوق المحلي بشكل واسع، ثم اكتب تقريراً عنها؟ |
|---|---|

### أسلاك الجهد المنخفض وكوابل البيانات

وهي أسلاك معزولة مرنة تأتي بمقاسات قليلة ($1, 1.5\ mm^2$) أو أقل، وتحمل جهوداً صغيرة نسبياً (30) فولتاً تقريباً. وتستخدم في أسلاك الهاتف أو شبكة الحاسوب، إضافة إلى الكوابل التي تنقل البيانات والإشارات من نقطة لأخرى، مثل (CAT5, CAT6, CAT7)، وكوابل ربط المقاسم.



أسلاك جهد منخفض وأسلاك الشبكة.

**نهايات الكابلات والوصلات الكهربائية.**

إن نهاية الأسلاك (Cable Shoes): هي مرابط أو وصلات توضع على نهاية الأسلاك والكابلات لتسهيل عملية ربطها وتثبيتها في أماكنها المحددة، وتصنع بأحجام ومقاسات مختلفة عديدة حسب نهايات الأسلاك؛ علما أنها تمنع ارتفاع حرارة طرف السلك، وبالتالي تقلل نسبة الخسائر عند أطراف الأسلاك خصوصاً نهايات أسلاك التّيار الثابت.

**وصلات الربط الكهربائية:** عبارة عن وسيلة ربط ميكانيكيّ محكمة تستخدم لربط موصلين لكابلين معاً ربطاً كهربائياً محكماً، وتصنع بمقاسات قياسية مناسبة لأحجام الأسلاك والكابلات الكهربائية.

حيث تدعو الحاجة الاقتصادية في كثير من الأحيان إلى استخدام وصلات الربط الكهربائية لربط موصلين معاً بطريقة ميكانيكية وكهربائية محكمة، وقد تكون الحاجة لربط موصلين من المقاس نفسه بأحجام صغيرة نسبيا أو حتى موصلات لكابلات ذات أحجام وجهود قياسية كبيرة، كما هو الحال عند الحاجة لتوصيل كابلين معاً في خطوط نقل الطّاقة الكهربائية. كما أنه قد يحصل في بعض من الأحيان أن يتعرض كابل غالي الثمن وذو مساحة مقطع كبيرة نسبياً للعطب نتيجة اجهادات ميكانيكية في منطقة ما منه، مما يجعل توصيله ذات جدوى اقتصادية كبيرة.

| أسئلة الدرس | |
|---|---|
| 1- | كيف يتم تصنيف الكابلات الكهربائية حسب نوع المادة العازلة؟ |
| 2- | قارن بين كوابل ال (PVC)و (XLPE). |
| 3- | يتم اختيار المادة الموصلة في نواقل التّيار الكهربائي بناءً على اعتبارات عديدة، اذكرها؟ |
| 4- | علل: يتم استخدام موصلات الألومنيوم في نقل القدرة الكهربائية العالية بدلاً من النحاس. |
| 5- | علل: يتم استخدام أحذية نهاية الكوابل (Cable shoes) في كوابل التّيار الثّابت. |

| 4 | الدرس الرابع: | قواطع الدارة الكهربائية والمصهرات |
|---|---|---|

تعدّ قواطع الدارة الكهربائية والمصهرات أحد أهم أجهزة الحماية في المنظومة الكهربائية، حيث إنها تصنّف من أجهزة الحماية الوقائية، أي أنها تمنع حدوث الخلل الكهربائي وذلك من خلال فصل التّيار الكهربائي عن الحمل في حالة مرور تيار كهربائيّ أعلى من التّيار المقرر، فما الفرق بين قاطع الدارة والمصهر المستخدمة في الدوائر الكهربائية؟

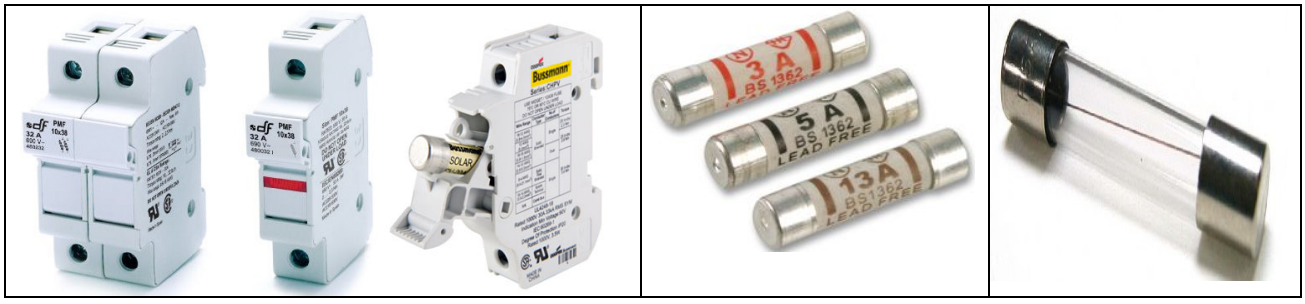
## [1] المصهرات: (Fuses)

تُعتبر الفيوزات أقدم وأبسط الأجهزة التي تستخدم للحماية من التّيارات الكهربائية المرتفعة والتي قد تكون ناتجة عن تيار الحمل الزائد أو القصر في الدارة الكهربائية. ويتلخّص مبدأ عمل الفيوزات التي تكون موصولة على التوالي مع الحمل الكهربائي، في وجود سلك أو شريط معدني ( نحاسي، أو سلك مطلي بالقصدير، أو من الرصاص أو غيرها) ذات تحمل لقيمة تيار معين. إذ إنها قابلة للانصهار عند تعرضها لتيار أعلى من التّيار المقنن "التيار الاسمي لها" نتيجة ارتفاع درجة حرارته وبالتالي انصهارها.

والفرق بين المصهرات والقواطع، كما سيرد معنا لاحقاً، ويمكن إعادة تشغيل القاطع بعد إزالة العطل، في حين أن المصهر يجب استبداله بعد إزالة العطل، وتستخدم حاملات المصهرات من أجل تثبيت المصهرات بداخلها والتي تركب مباشرة على جسر أوميغا في اللوحة الكهربائيّة؛ لحماية الدارات المختلفة، وتستخدم عادة أنواع المصهرات الآتية في اللوحات الكهربائية:

1) **المصهر الخرطوشي:**

تصنع المصهرات المبينة في الشكل الآتي بمقررات تيار قد تصل إلى 60 أمبيراً يكون معامل انصهارها تقريبا ($1.5xI_n$)، حيث إن : ($I_n$) تمثل التّيار المقنن ( المقرر).



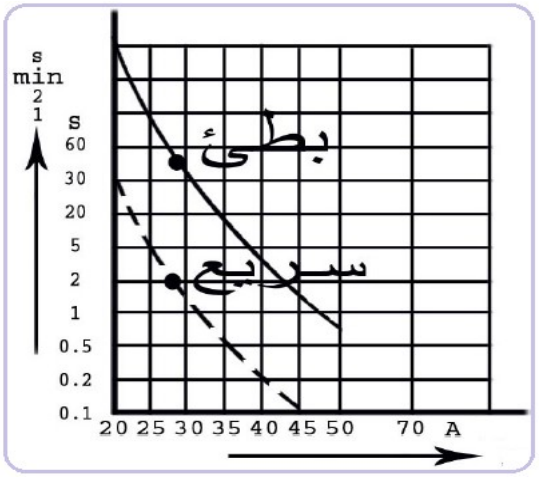

مصهر خرطوشي

2) **المصهر السكيني:**

وتصنع هذه المصهرات بمقررات تيار عالية، أكبر من 60 أمبيراً، كما في الشكل الآتي، علماً بأن هذه المصهرات تستخدم عند جهود عالية نسبياً، لذلك يجدر الحذر في التّعامل معها. كما وتتوفر وسائل عزل مناسبة لحجم المصهرات السكينية، لكي تساعد في عملية تركيب هذه المصهرات واستبدالها عند الحاجة.

مصهر سكيني والطريقة السليمة لاستبداله

يجدر الإشارة إلى أن سرعة الفصل للمصهرات متفاوتة وذلك حسب منحنى خصائص المصهر (Fues) الذي حدده المصنع، وبناءً على هذا التفاوت الزمني في الفصل فإنه يتم استخدام المصهر المناسب في الدارة الكهربائية، حيث تنقسم المصهرات من حيث سرعة الفصل إلى مصهرات سريعة الفصل، وأخرى بطيئة الفصل، حيث إن المصهرات سريعة الفصل تقطع مرور التّيار الكهربائي في الموصل عند وصول قيمة التّيار إلى 2.5 مرة من قيمة التّيار المقرر وذلك بعد فترة زمنية قيمتها 0.2 ثانية. أما بالنسبة للمصهرات بطيئة الفصل فإنها تتحمل تيارات كبيرة لفترة زمنية أكبر. ويوضّح المنحنى المرفق خصائص مصهرات مختلفة السرعة.




الشكل المجاور يمثّل منحنى الخصائص لفيوزين لهما القيمة الاسمية نفسها (10 أمبير مثلاً)، ولكن أحدهما يقوم بالفصل بسرعة أكبر من الآخر، وعليه عند مرور تيار مقدارة 40 أمبيراً منهما فإن الفيوز الأول يفصل في غضون زمن مقداره 0.2 ثانية، أما الثّاني فيفصل في زمن مقداره 4 ثوان، أي أن الفيوز الأول قد فصل بشكل أسرع.

**[2] القواطع الكهربائيّة (Circuit Breakers):**

يعد القاطع الكهربائي أداة تستخدم لإيقاف سريان التّيار الكهربائي في الدارت الكهربائية في الظروف الطبيعية وغير الطبيعية، كما ويعتبر أداة إبدال (فصل و وصل)، حيث يعمل القاطع في الظروف الطبيعية عندما تكون قيمة التّيار المار في القاطع ضمن القيمة المقررة. أما في الحالة غير الطبيعية فإن القاطع يعمل بطريقة آلية لحماية الدارة من التّيار المفرط. إضافة إلى أن قواطع الدارة الكهربائية تصنف بحسب نوع التّيار المار فيها إلى قواطع التّيار الثابت (DC) وقواطع التّيار المتناوب (AC).

**القواطع الكهربائيّة:** هي عبارة عن جهاز يقوم بوصل وفصل سريان التّيار الكهربائيّ عن الدائرة الكهربائية في ظروف التشغيل الطّبيعية وغير الطّبيعية.

وتستخدم عادة الأنواع الآتية من القواطع الكهربائية في اللوحات الكهربائية كوسائل حماية وتحكم:

**(A): القاطع اليدوي (Switching Device-ON/OFF):**

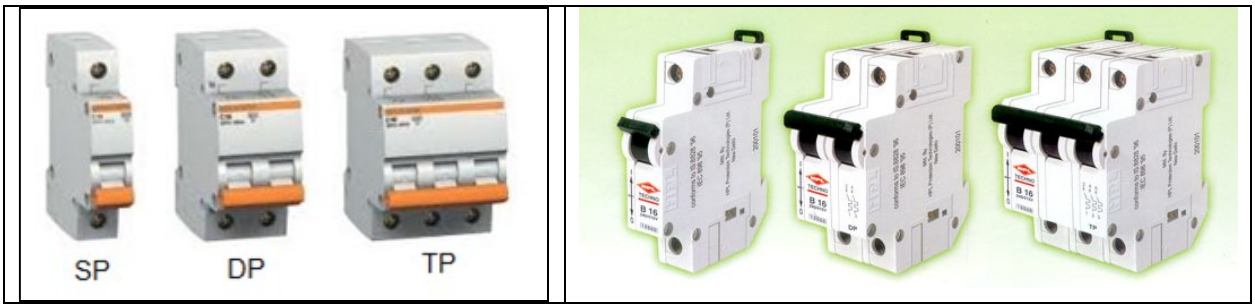
ويعمل على وصل التّيار الكهربائي وفصله في ظروف التشغيل العادية (يتم وصله وفصله يدوياً)، ويسمّى في هذه الحالة المفتاح الكهربائي، مثل مفاتيح الإنارة وغيرها.

**(B): القاطع الآلي (circuit Breaker):**

ويستخدم عادة في لوحات الحماية والتّحكم الكهربائية القواطع الآلية الآتية:

أ) قاطع الدارة المصغرة (MCBMiniature Circuit-Breaker):

وتصنع قواطع الدارة بعدد مختلف من الأقطاب (قطب واحدSP أو قطبينSPN,DP أو ثلاثةTP أو أربعة أقطاب FP,TPN ) كما في الشكل.




نماذج لقواطع دائرة آلية (MCB) (أحادية، ثنائية، ثلاثية القطب)

**قواطع الدارة المصغرة:** وهي جهاز يقوم بوصل الدارة الكهربائية وفصلها يدوياً في ظروف التشغيل العادية وفصل الدارة آليا في حالات الخطأ، وتستخدم لحماية الأحمال الكهربائية من التّلف نتيجة حدوث دارة قصر أو حمل زائد أو غير ذلك من الأخطاء، وغالباً ما تستخدم في دوائر التّوزيع النهائية.

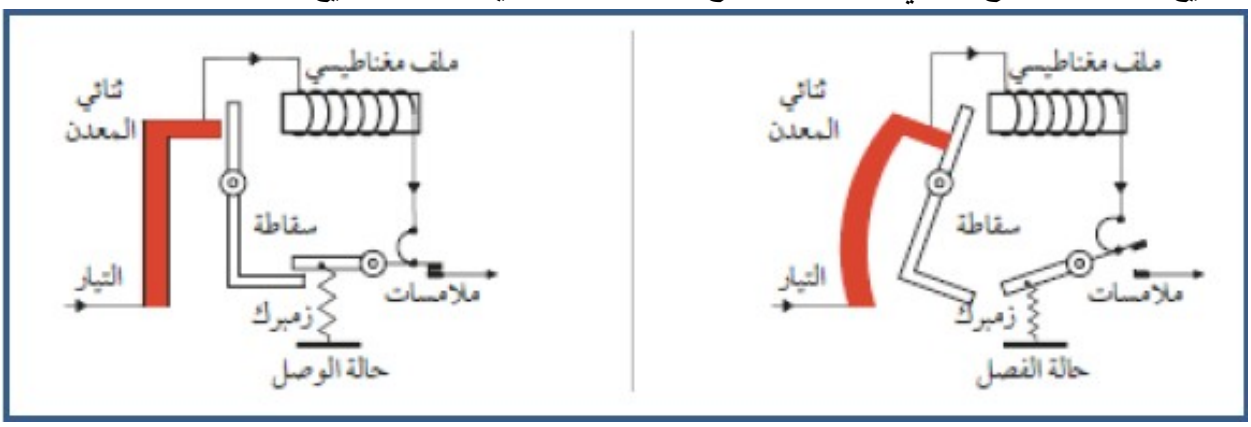
نماذج لقواطع دائرة آلية (MCB) وجسور تثبيت (Din rail)

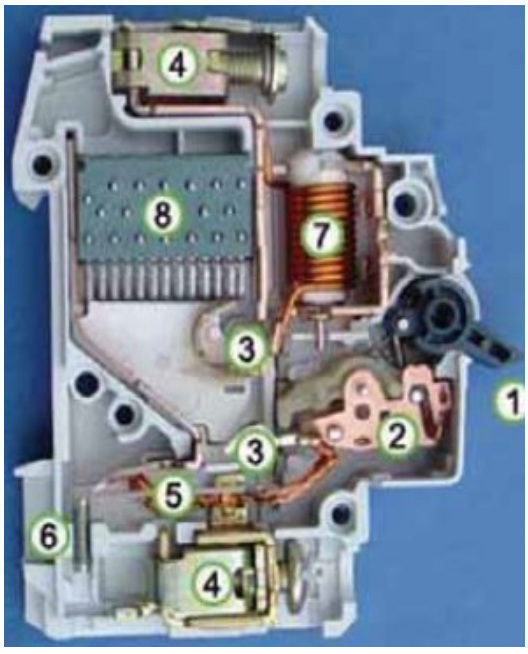
وعادة ما تثبت القواطع المصغرة داخل لوحات التّوزيع الكهربائية على سكة أو جسر معدني يطلق عليه "جسر أوميجا (OMEGA) أو DIN rail"، مباشرة دون الاستعانة بأدوات تركيب وتثبيت. وتكون هذه القواطع مزودة بمشبك خلفي يركب مباشرة على جسر اللوحة، كما في الشكل أعلاه.

### ميزات قواطع الدارة المصغرة (MCB):

- ✓ سرعة الاستجابة لأعطال قصر الدائرة.
- ✓ تحتوي على آلية إعتاق حراريّ في حالة زيادة الحمل (Over Load)، وآلية الإعتاق المغناطيسي في حالة قصر الدارة(Short Circuit).
- ✓ إعادة توصيلها يدوياً عند زوال العطل المسبب لفصل القاطع.
- ✓ مزودة بآلية إخماد للقوس الكهربائيّ عند فصل القاطع.
- ✓ تعمل عن طريق الإعتاق الحراري أو التأثير المغناطيسي أو الاثنين معاً.
- ✓ تتميز بكفاءة واعتمادية عالية وسهولة في التركيب.

وتكون قواطع الدائرة مزودة بوسيلة ***حماية مغناطيسية***"ملف مغناطيسي" لحماية الأحمال الكهربائية عند حدوث *قصر* في الدائرة الكهربائية، بينما تزود أيضاً بوسيلة ***"حماية حرارية"*** " ثنائي المعدن"لحماية الأحمال الكهربائية من أخطار ارتفاع قيمة التّيار الساري فيها عن التّيار المقرر. وتستعمل هذه القواطع في لوحات التّوزيع الرئيسية كمفتاح رئيسي، وكذلك كمفاتيح فرعية للوحة تغذي لوحات التوزيع الفرعية.




### التركيبة الداخلية لقواطع الدارة الكهربائية:

1. رافعة بلاستيكية تستخدم للفصل والوصل يدوياً وتظهر حالة القاطع (ON, OFF).
2. آلة الحركة تقوم بفصل القاطع ووصله.
3. الملامسات المعدنية الداخلية التي تقوم بالفصل والوصل.
4. الأقطاب وأطراف توصيل القاطع مع الدارة الكهربائية.
5. شريط ثنائي المعدن للفصل الحراري.
6. برغي معايرة من المصنع لتحديد تيار الفصل.
7. الملف الكهرومغناطيسي.
8. مقسم/ مخمد الشرارة الكهربائية.

**القيم المقررة للقواطع المصغّرة:**

[1] *التيار المقنن $I_n$ ):* وهو أقصى قيمة للتيار الذي يمر خلال القاطع عند درجة حرارة معينة دون تفعيل القاطع أو تسخينه. فمثلاً إذا كان التّيار المقنن لقاطع ما هو In=100A عند درجة حرارة تساوي $40C^o$ ، فإننا نتوقع أنه عند درجة حرارة $50C^o$ أن تقل قيمة التّيار المقنن إلى 92A وهكذا.

[2] *تيار الفصل اللحظي $I_m$ ):* وهو أقل قيمة لتيار القصر الذي يقوم بتفعيل القاطع خلال فترة قصيرة جداً تتراوح من (0.2–5) ثوان، وتتراوح قيمة هذا التّيار من (3–10) أضعاف قيمة التّيار المقنن، وتعتمد قيمته على خصائص القاطع، ويطلق عليه أحيانا تيار الفصل المغناطيسي؛ لأن المرحل الكهرومغناطيسي داخل القاطع هو الذي يفصل الملامسات.

[3] *تيار الفصل التقليدي $I_R$( أو $I_R^{th}$ ):* ويطلق عليه أحيانا تيار الفصل الحراري، وهذا التّيار عادة ينتج عن زيادة تيار الحمل لفترات طويلة نسبياً ( اقل من ساعة) مما يؤدي إلى تسخين، وتمدد الشريط المعدني المزدوج داخل القاطع، وبالتالي فصل الملامسات، وهو أكبر من التّيار المقنن تقريباً بمرة ونصف ( $I_R = 1.45 * I_n$ ).

[4] *الجهد المقرر $U_E$:* وهي قيمة الجهد الكهربائيّ الذي يعمل عليه القاطع في الوضع الطّبيعي.

[5] *جهد العزل $U_I$:* وهو أعلى قيمة للجهد الكهربائيّ التي يستطيع القاطع أن يعزله، ويجب أن يكون مساوياً أو أكبر من الجهد المقرر ( $U_E <= U_I$).

**ويمكن تقسيم القواطع حسب خصائص القطع ( خصائص الزّمن والتيار) حسب مقياس IEC كما يلي:**

1) **فئة A:** في هذا النوع من القواطع تتم عملية الفصل مباشرة دون تأخير في حالة الخطأ.

2) **فئة B:** عند حدوث خطأ فإن هذا النوع من القواطع يتأخر في عملية الفصل لفترة زمنية محددة وذلك لأغراض تتعلق بالانتقائية (Discrimination) مع قواطع كهربائية أخرى. ويستخدم هذا النوع مع المصادر التي تنتج مستويات منخفضة من تيار القصر، مثل المولدات الاحتياطية (Standby Generators) وتستخدم أيضا لحماية الكوابل ذات الامتدادات الطويلة.

3) **فئة C:** ولها خصائص النوع B نفسه، ولكن زمن التأخير لها أكبر وتيار الفصل اللحظي ($I_m$) أعلى، وتستخدم لحماية الدارة في الحالات العام،. وعادةً ما تستخدم في التمديدات المنزلية.

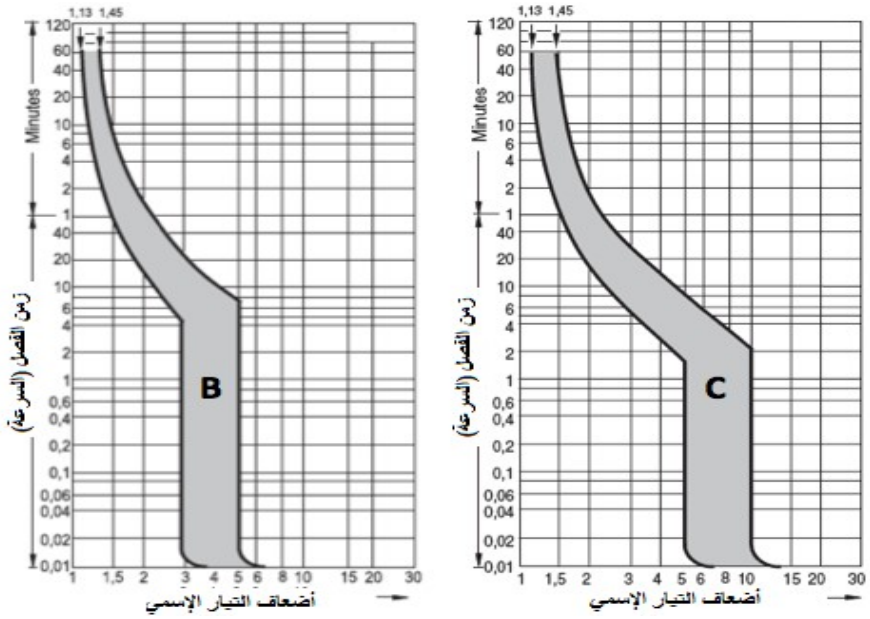
4) **فئة D, K:** تتميز بتيار فصل لحظي أكبر من فئة C، وتستخدم لحماية الدارات التي تحتوي على تيارات ابتدائية عالية نسبياً، مثل المحركات والمحولات الكهربائية.

والجدول(1) يعرض أهم المواصفات الفنية لقواطع الدارة المصغرة من فئات B,C,D,K.

**والجدول(1):** أهم المواصفات الفنية لقواطع الدارة المصغرة من فئات B,C,D,K

| | نوع القاطع | التّيار الفصل التقليدي | تيار الفصل اللحظي | | |
|---|---|---|---|---|---|
| القواطع المنزلية | حراري ومغناطيسي | Ir=In | إعددات منخفضة فئة B 3In<=Im<5In | إعددات قياسية فئة C 5In<=Im<10In | إعددات عالية فئة D 10In<=Im<20In |
| القواطع الصّناعية | حراري ومغناطيسي | Ir=In | إعددات منخفضة فئة B او Z 3.2In<=Im<4.8In | إعددات قياسية فئة C 7In<=Im<10In | إعددات عالية فئة D او K 10In<=Im<14In |

الشكل التّالي: يبيّن منحنيات الأداء للقواطع من الفئة B, C, D:




منحنى خصائص قواطع الدارة الكهربائية من نوع (B, C).

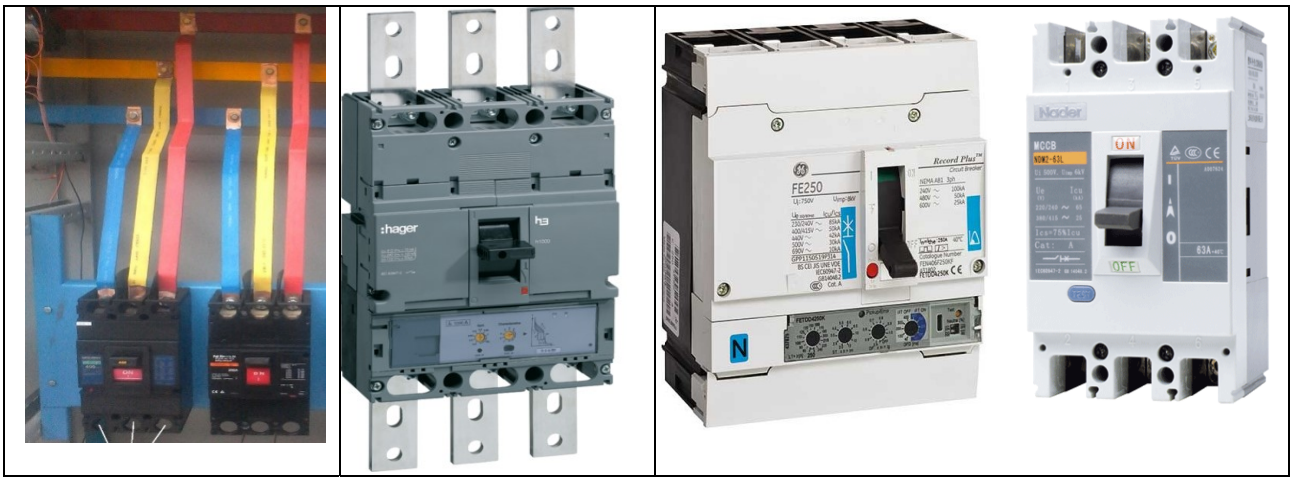
يتم اختيار سعة القاطع ونوعه وكذلك مساحة مقطع الكابل اعتماداً على قيمة التّيار المار في الدارة الكهربائية، ونوع الحمل، والجدول المختصر الآتي يوضّح مساحة مقطع الموصلات، وسعة القاطع المناسب:

| مساحة مقطع الموصل ($mm^2$) | التيار المقنن للكابل (A) | التيار المقنن للقاطع (A) |
|---|---|---|
| 1.5 | 13 | 10 |
| 2.5 | 18 | 16 |
| 4 | 25 | 20 |
| 6 | 32 | 25 |
| 10 | 43 | 32 |

| | |
|---|---|
| سؤال: | ما علاقة التّيار الاسمي للقاطع المستخدم مع التّيار الاسمي للكابل؟ علل السبب؟ |

ب) القواطع الآلية المقولبة(MCCBMoulded Case Circuit Breakers):

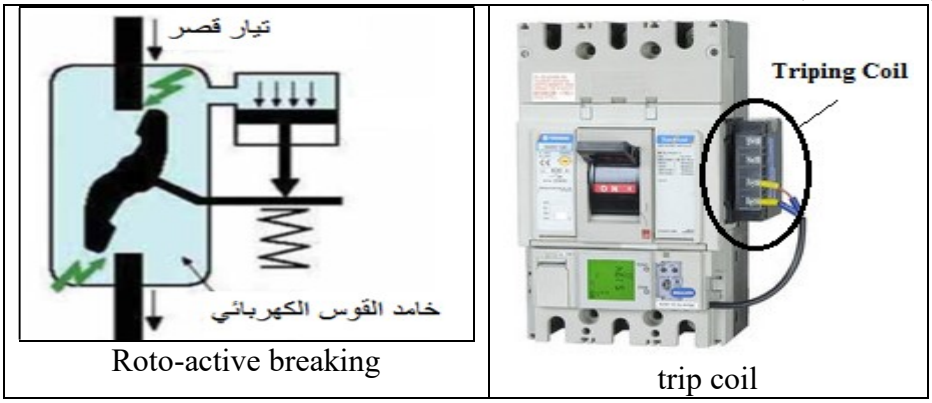
تستخدم القواطع المقولبة (MCCB)، في دوائر التّوزيع الرئيسية والفرعية، وتمتاز بسعتها العالية للتيار، حيث يصل تيارها المقنن إلى 1600 أمبير، علما أنه يوجد للقاطع نفسه أكثر من منحنى خصائص، أي أكثر من سرعة استجابة (فصل) يتحكم بها المستخدم، كما في الشكل.




نماذج لقواطع مقولبة (MCCB)

**❁ ميزات القواطع الآلية المقولبة(MCCB):**

- ✓ يحتوي ذراع المفتاح على ثلاثة أوضاع: وهي (Trip, ON, OFF) حيث يتم تفعيل وضعية Trip عند حدوث عطل في الدائرة المتصلة في القاطع، سواء أكان العطل زيادة في الحمل أو زيادة مفرطة في التّيار (Short circuit)، وفيه يكون الذراع في منتصف المسافة بين وضعية ON و OFF.
- ✓ إمكانية إضافة أجزاء إضافية، مثل ملف فصل (Trip Coil) للمساعدة في التحكم في فصل القاطع عن بعد.
- ✓ يمكن ضبط قيمة التّيار لتتناسب مع تيار الحمل.
- ✓ مزود بنظام (Roto-active breaking) الذي يعمل على استخدام الطّاقة الناتجة عن القوس الكهربائي المتولد في إحداث ضغط على ذراع القاطع لفصل المتلامسات.



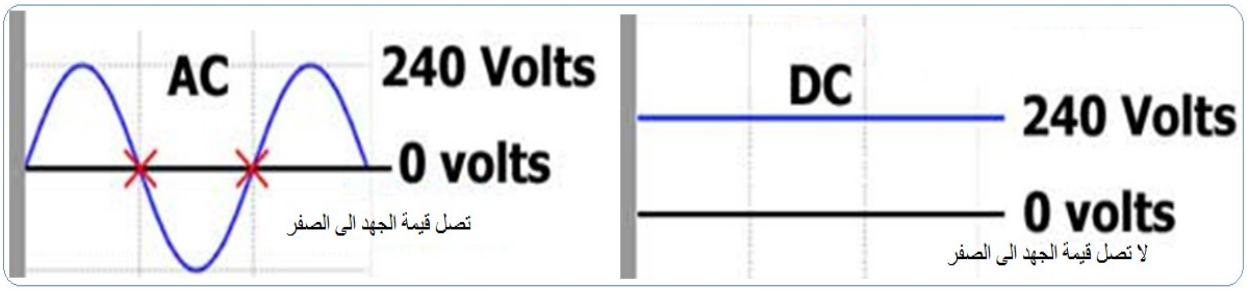

Roto-active breaking

trip coil

إضافات القاطع الآلي المقولب.

### (C):قواطع التّيار الثّابت (DC-Circuit Breaker):

قواطع دارة التّيار الثابت وكما يشير اسمها فإنها تستخدم لحماية الأجهزة التي تعمل على التّيار الثابت (DC)، وعند الحديث عن التّيار الثابت فإن قيمة الجهد تبقى ثابتة باستمرار، أي أن قيمة الجهد في الدارة لا يصل إلى الصفر أبداً. أما التّيار المتناوب (AC) فإن قيمة الجهد تكون متغيرة مع الزمن والذي بدوره يصل إلى الصفر مع كل نصف دورة، كما هو موضح في الشكل.




إشارة التّيار الثابت والمتردد

وبما أنه من مهمات القاطع الكهربائيّ إطفاء "إخماد" الشرارة الكهربائية الناتجة عن عمليتي الفصل والوصل في الدارة الكهربائية فإن الشرارة الناتجة عن التّيار المتردد قد لا تكون موجودة إذا حدثت عملية الفصل أو الوصل عند الجهد صفر أو الجهود المنخفضة، أما الشرارة الكهربائية الناتجة عن التّيار الثابت فإنها تحدث دائما عند قيمة الجهد نفسه وبالقوة نفسها. وهذا ما يخلق الفرق بين مواصفات قواطع التّيار المتناوب، وقواطع التّيار المستمر.

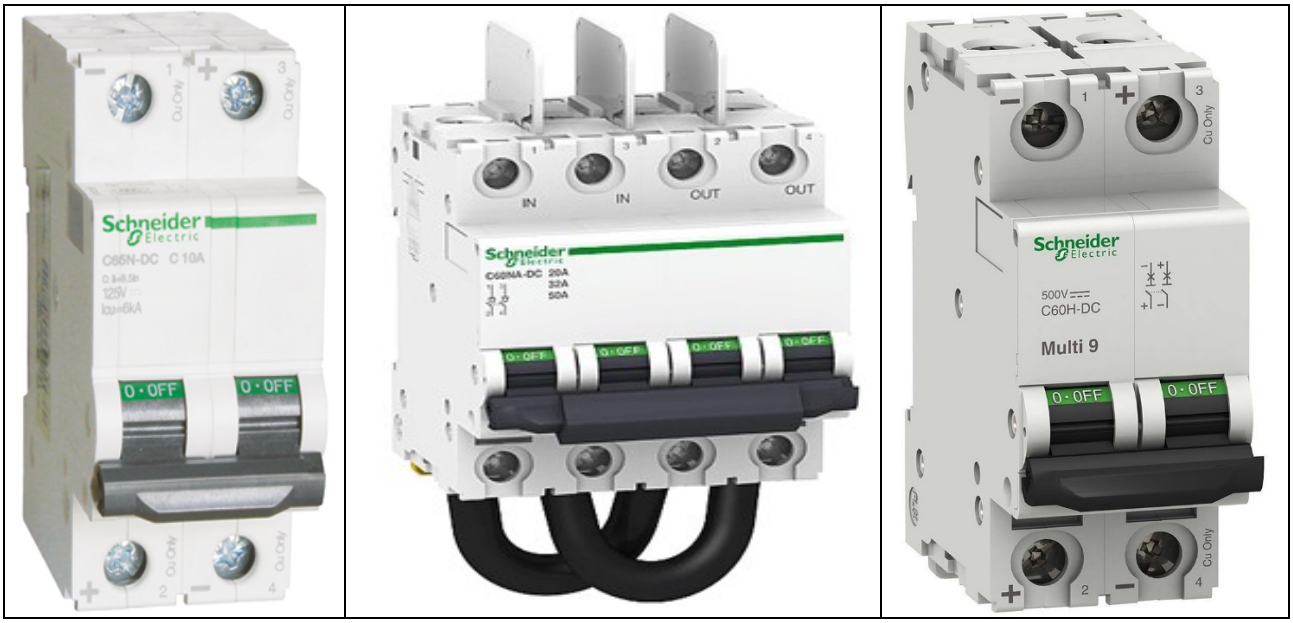
| | |
|---|---|
| سؤال: | برأيك، هل يمكن استخدام قواطع ال AC مكان قواطع الDCأو العكس؟ علل السبب؟ |

### تركيب قواطع التّيار الثّابت:(DC-CB):

تتشابه قواطع التّيار الثابت مع قواطع التّيار المتردد في مبدأ عملها، حيث تحتوي على آليتين لفصل التّيار الكهربائي كما في قواطع ال(AC)، وهما الفصل الحراري في حال ارتفاع التّيار عند زيادة الحمل (Over Load)، ولكنها تكون أسرع؛ وذلك بسبب الحرارة المتولدة من التّيار المستمر داخل القاطع. أما الآلية الثّانية للفصل وهي فصل تيار القصر ( Short Cuircuit Current) فتتشابه مع قواطع ال(AC).

ولكن ما يميّز قواطع التّيار الثابت بشكل واضح هو آليات إخماد الشرارة الكهربائية الإضافية الموجودة داخل القاطع، حيث إنه في كثير من قواطع التّيار الثابت يتم استخدام القوة المغناطيسية لتشتيت الشرارة الكهربائية المتولدة داخل القاطع، إضافة إلى مجزء الشرارة الموجود أصلاً داخل القاطع، مما يسرع من عملية إخماد الشرارة الكهربائية، وإطالة عمر الملامسات الداخلية.

و كما هو واضح فإن قواطع التّيار الثابت أغلى ثمناً وأكثر تعقيداً من ناحية التركيب، وذلك بسبب مخمدات الشرارة الإضافية الموجودة، إلا أن هناك بعض القواطع التي تعمل في التّيار المستمر والتيار المتردد في الوقت نفسه، ولكن هذه القواطع تكون خاصة وبقيم اسمية خاصة مثل، (الجهد 230 فولتاً متناوباً و32 فولتاً مستمراً وقيمة التّيار 6.75). ويجدر الإشارة إلى أن الطلب قد ازداد على قواطع التّيار الثابت في الآونة الأخيرة؛ وذلك بسبب الانتشار الواسع لتقنيات الطّاقة المتجددة التي تعتمد على التيار المستمر، كالطّاقة الشّمسية وغيرها. والشكل (10) يوضّح بعض أنواع قواطع التّيار الثابت المستخدة حالياً.




**الشكل (10):** قواطع تيار ثابت (DC–CB)

| | |
|---|---|
| نشاط (1):- | ابحث عن قواطع التّيار الثابت التي تستخدم في السوق المحلي، ثم قارن بين أسعارها وأسعار قواطع ال AC ؟ |

**(D):قاطع التسرب الأرضي (RCD) Residual current device:**

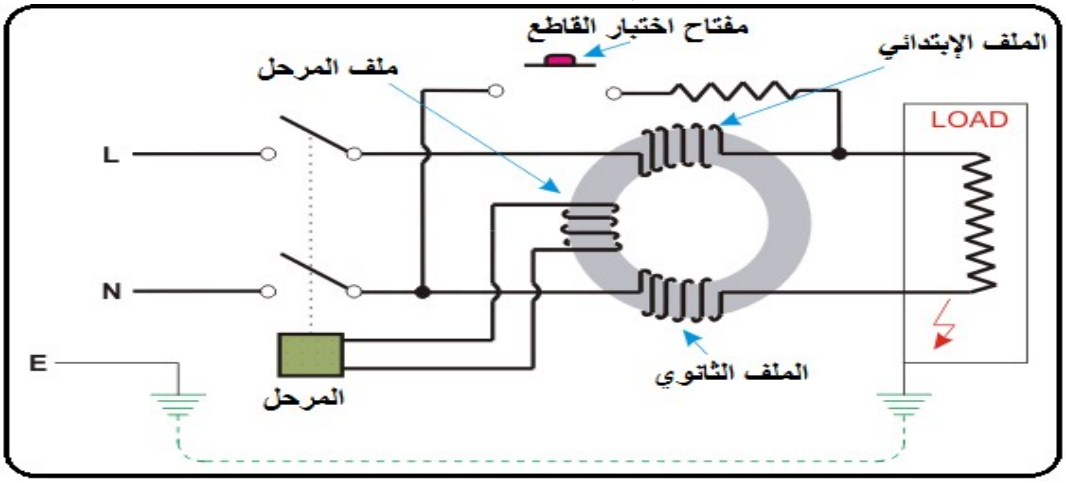
يعتبر استخدام قاطع الحماية ضد تسريب التّيار الكهربائيّ من الدارة أمراً في غاية الأهمية، حيث يتم استخدام قاطع يسمّى قاطع التسريب الأرضي في لوحات المنازل أو العمارات السكنية كافة وحتى في الورش الصناعية، ذلك أن هذا القاطع يستخدم لكشف أيّ تسرب للتّيار إلى الأرضي، سواء كان هذا التسرب عن طريق عازل الأسلاك أو عن طريق أي خطأ قد ينشأ في التّوصيلات الكهربائية أو حتى عند حدوث صدمة كهربائية في جسم الإنسان.

ويعتبر هذا القاطع جهاز حماية أساسيّ لحماية الإنسان، على عكس القواطع الآلية التي يكمن هدفها الأساسيّ في حماية الأجهزة والأسلاك الكهربائية الحاملة للتّيار الكهربائيّ. حيث يعمل قاطع التسريب الأرضي من خلال الإحساس بفرق التّيار بين الخط الحار (L) والمتعادل(N) المارين من خلاله فهو لا يوصل مع الأرضي. والشكل الآتي يوضّح قواطع تسريب أرضية.

قاطع التسريب الأرضي RCD أحادي وثلاثي الطور.

### تركيب وطريقة عمل RCD:

يحتوي قاطع التسريب الأرضيRCD قطبي توصيل: الأول للطّور والثّاني للخطّ المتعادل متصلين مع الحمل ويمران من داخل محول التّيار، ويوصل مرحلة الفصل للقاطع على الملف الثانويّ لمحول التّيار، ليقوم بالفصل عند حدوث تسريب. ويحتوي أيضاً على دارة فحص لصلاحية الجهاز تتكوّن من مفتاح ضاغط ومقاومة، وكذلك على الملامسات التي تقوم بوصل التّيار وفصله.




**الشكل (12):**الأجزاء الأساسية لقاطع التسريب الأرضي RCD.

في الوضع الطّبيعي تكون قيمة التّيار المار في الطور($I_L$) قيمة التّيار الراجع نفسه في الخط المتعادل($I_N$)، وبالتالي فإن كلّ موصل يولّد مجالاً مغناطيسياً مساوياً ومعاكساً للآخر فيلغيان بعضهما بعضاً، ولا يتولد تيار داخل محول التّيار، ويبقى المرحل على وضعه.

أما في حال حصول تسرب للتيار نتيجة خطأ في العازلية فإن التّيار الراجع إلى RCD في الخط المتعادل يصبح أقل من التّيار الداخل إليه، وبالتالي يولّد فرقاً في التّيار ($I_\Delta$) والذي يولّد مجالاً مغناطيسياً في محول التّيار، والذي يقوم بدوره بتفعيل المرحل، وفصل الملامسات، وبالتالي قطع التّيار عن الحمل، وحتى يحصل هذا يجب أن تكون قيمة الفرق في التّيار أكبر من تيار التّسرب المقرر للجهاز ($I_{\Delta N}$) وعادة تساوي 30mA.

أما بالنسبة لدارة اختبار القاطع فهي تستخدم للتأكد من صلاحية القاطع، حيث إنه في حالة الضغط على الضاغط T يمر تيار صغير من الخطّ الحار إلى المتعادل عبر المقاومة R خارج محول التّيار، مما يسبب فرقاً في التّيار وبالتالي فصل الملامسات، ويتم اختيار المقاومة، حيث تسمح بمرور تيار أكبر من تيار التسرب المقرر بقليل، وينصح بعمل الفحص للقاطع كلّ شهر مرة للتأكد من صلاحيته.

**حساسية قاطع التّسريب الأرضي:**

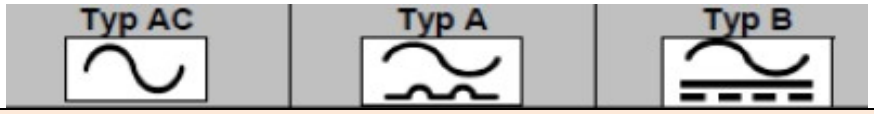
1- **حساسية (0.03A):** إن أيّ تسرب للتيار بمقدار(0.03A) يجعل قاطع التسرب الأرضي يفصل التّيار، وتستعمل للسكن والمكاتب والمدارس وغيرها، وتكون قيمة تيار التّسرب هذا في حالة الصدمة الكهربائية غير ذات خطورة على حياة الإنسان.

2- **حساسية (0.3A):** والتي قد تستعمل للمصانع وغرف التدفئة وغيرها من الأماكن التي يمكن أن تكون أكثر تعرضاً لتسرب التّيار، ويمكن أن يتحمل جسم الإنسان هذا التسرب في التّيار في حالة الصدمة الكهربائية إذا كان الإنسان محتاطاً لذلك كأن يكون غير مبتل ويلبس حذاءً معزولاً في رجليه طبعاً.

3- **حساسية (0.01 A): وهي** قواطع تسرب أرضي ذات حساسية عالية جداً، والتي قد تستخدم في برك السباحة التي يتم توفير إضاءة لها داخل البرك ذاتها، وبالتالي لخطورة الوضع الذي قد يحدث لأي تسرب أرضيّ.

ويمكن تصنيف قواطع التّسريب الأرضي حسب نوع التّيار المُسَرب كالتالي.

- ✓ **النوع AC:** هذا النّوع من القواطع لا يستجيب إلا إذا كان التّيار المتسرب متردداً.
- ✓ **النوع A:**هذا النوع من القواطع لا يستجيب إلا إذا كان التّيار المتسرب متردداً أو نبضة.
- ✓ **النوع B:** هذا النوع من القواطع يستجيب لأنواع التّيارات التسريبية جميعها.

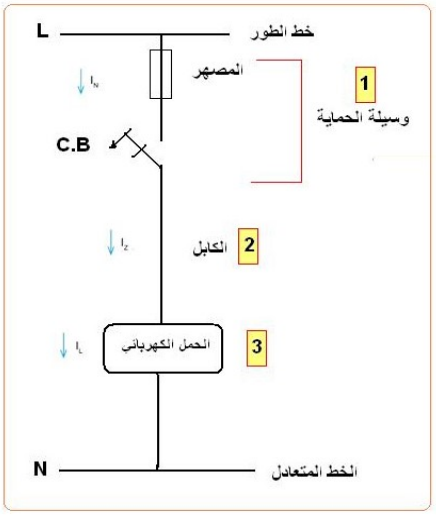



| أسئلة الدرس | |
|---|---|
| 1- | ما الفيوز الكهربائي؟ واذكر أنواعه. |
| 2- | قارن بين القاطع الكهربائي والفيوز موضّحاً آلية توصيلهما مع الحمل. |
| 3- | وضح المقصود ال MCCB و ال MCB ذاكراً ميزات كل منهما. |
| 4- | وضّح آلية عمل القاطع الآلي للحماية من التّيار المفرط والحمل الزائد. |
| 5- | وضح تركيب ومبدأ عمل قاطع التسريب الأرضي (RCD). |
| 6- | علل: يتم استخدام المغانط داخل قاطع التّيار الثابت. |

| 5 | الدرس الخامس: | تحديد السّعة الأمبيرية وهبوط الجهد |
|---|---|---|

بعد التعرف إلى المنظومة الكهربائية وأجهزة الحماية والكوابل المستخدمة فيها لا بد لنا من التعرف إلى آلية اختيار جهاز الحماية المناسب في موقعه المناسب، وذلك من خلال تعرف مفهوم السّعة الأمبيرية الذي سنتناوله في هذا الدرس، **وتعرف السّعة الأمبيرية** بأنها قدرة تحمل التّيار الكهربائي في الظروف الطبيعية وغير الطبيعية في أجهزة الحماية والكوابل الكهربائية. علماً بأن هناك ظروفاً و قوانين يحددها المُصَنِّع، وذلك للتقليل من خسائر الطّاقة المحتملة، أو تلف جهاز الحماية أو الكابل نفسه.

يبيّن الشكل المجاور كيفية تغذية حمل كهربائيّ من مصدر التّغذية ومراحل حمايته بالترتيب:




1) وسائل الحماية الأساسية (مصهرات أو قواطع دارة).
2) الكابل المتصل بمصدر التغذية.
3) الحمل الكهربائي.

وبناء على ذلك فإنه يجب تحديد السّعة الأمبيرية المناسبة للكابل بعد تحديد مقدار تيار الحمل الذي سيمر من خلاله ولحماية الكابل يتم اختيار قاطع أو مصهر بسعة أمبيرية مناسبة، ولكن كيف يمكن تحديد السّعة الأمبيرية للكابل؟

### تحديد السّعة الأمبيرية للكابل:

تعرف السعة الأمبيرية للكابل على أنها أقصى قيمة تيار يستطيع الكابل تمريرها دون أن يحدث تلف لأي من الموصل أو العازل الخاص بهذا الكابل.علماً بأن هناك ضرورة لتبديد الحرارة المتولدة فيه بسبب ضياع الطّاقة في الموصلات والعزل والغلاف والمقاومة الحرارية للوسط المحيط بالكابل (هواء–ماء–تربة).

ويعتمد ذلك كله على مقدار الجهد المنقول ونوع الكابل المستعمل وطريقة تمديده، حيث يكون مستوى التّيار المقرر لكابل مطمور في الأرض أقل منه عندما يراد مده في الهواء بشكل عام. ويتم تحديد هذه القيمة للتيار بناء على عوامل تتضمن قدرة الحمل ونوعه، ونوع الموصل المستخدم، وطريقة التمديد (مكشوف أم مدفون)، ونوع ودرجة حرارة الوسط العازل.

| سؤال:– | ما سبب ارتفاع قيمة التّيار المقرر لكابل ممدود في الهواء على عكس كابل آخر مدفون في الأرض؟ |
|---|---|

| نشاط (1):– | باستخدام (الإنترنت) والسوق المحلي، قارن بين قيم كوابل ممدودة في ظروف مختلفة؟ |
|---|---|

**معايير تحديد نوع الموصلات والكوابل المستخدمة في التمديدات:**

1) مكان التركيب وطريقة التمديد، حيث إن آلية تمديد الكابل وطبيعة مكانه يؤثّران بشكل واضح على قيمة التّيار المسموح للكابل، وهناك آليات عديدة للتمديد، منها:

أ) *القنوات (Cable Ducts):* وتمثّل القنوات على اختلاف أنواعها طريقة آمنة لتمديد الأسلاك والكوابل الكهربائية، حيث تصنع من مواد ملائمة لتقاوم العوامل الخارجية والإجهاد الميكانيكي.

ب) *الصّواني أو الحوامل (Cable Tarys):* تتوفر الصّواني المصنوعة من الحديد المغلفن أو الألمنيوم بأبعاد وأشكال مختلفة، وتستخدم بشكل واسع، علماً بأن لها درجة حماية وموثوقية عالية.

ج) *مواسير ال:PVC* وتستخدم المواسير المصنوعة من مادة ال PVC بشكل متزايد لتحل مكان الحديد، حيث تمتاز بسهولة التعامل معها، وأنها مادة عازلة للكهرباء ولا تتعرض للصدأ.

2) درجة حرارة المحيط الخارجي للموصل فقد يستعمل كابل(**PVC**)(يتحمل حتى 70 درجة مئوية) أو كابل**XLPE** (يتحمل حتى 90 درجة مئوية) كما مر سابقاً.

3) السّعة الأمبيرية للموصلات والكوابل التي يتم تحديدها من قبل المصنع.

4) نوع الشبكة الكهربائية التي تحدد عدد موصلات الكابلات التي ستستخدم لتغذية الحمل (ثلاثة أو أربعة أو خمسة أو أكثر موصلات) وما إذا كان يحتوي حجاب مسلح واقي أم لا.

5) المواصفات المتبعة في التركيبات الكهربائية والتي تتبع المقاييس المحلية أو الدولية.

نظرا لاختلاف الظروف الطبيعية أو السّعة التشغيلية لكابل فإن الشركات الصّانعة للكوابل تعطي جداولاً تحدد فيها السعة التّياريه لكابلاتها–أي مقدار التّيار الذي يستطيع هذا الكابل نقله دون تلفه– حسب الظروف القياسية (وهي20 درجة مئوية لكابل ممدود في الأرض أو 30 درجه مئوية لكابل ممدود في الهواء) وتحدد المواصفات القياسية العالمية الألمانية والبريطانية والأمريكية(**VDE/BSI/IEC**) السّعة الأمبيرية لتلك الكابلات وطرق تمديدها وظروف تشغيلها.

| اكبر قيمة تيار ($I_z$) مسموح به للمرور خلال الموصلات غير المدفونة في الارض في درجة حرارة 30°C أو أقل | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| مساحة المقطع $mm^2$ | المجموعة الثالثة | | المجموعة الثانية | | المجموعة الاولى | |
| | Cu | Al | Cu | Al | Cu | Al |
| | A | A | A | A | A | A |
| 0.75 | 15 | - | 12 | - | - | - |
| 1 | 19 | - | 15 | - | 11 | - |
| 1.5 | 24 | - | 18 | - | 15 | - |
| 2.5 | 32 | 26 | 26 | 20 | 20 | 15 |
| 4 | 42 | 33 | 34 | 27 | 25 | 20 |
| 6 | 54 | 42 | 44 | 35 | 33 | 26 |
| 10 | 73 | 57 | 61 | 48 | 45 | 36 |
| 16 | 98 | 77 | 82 | 64 | 61 | 48 |
| 25 | 129 | 103 | 108 | 85 | 83 | 65 |
| 35 | 158 | 124 | 135 | 105 | 103 | 81 |
| 50 | 198 | 155 | 168 | 132 | 132 | 103 |
| 70 | 245 | 193 | 207 | 163 | 165 | - |
| 95 | 292 | 230 | 250 | 197 | 197 | - |
| 120 | 344 | 268 | 292 | 230 | 235 | - |
| 150 | 391 | 310 | 335 | 263 | - | - |
| 185 | 448 | 353 | 382 | 301 | - | - |
| 240 | 528 | 414 | 453 | 357 | - | - |
| 300 | 608 | 479 | 504 | 409 | - | - |
| 400 | 726 | 569 | - | - | - | - |
| 500 | 830 | 649 | - | - | - | - |

حيث إن:

1- المجموعة الأولى: عبارة عن موصل أو موصلات عديدة مفرده ممدده داخل مواسير.

2- المجموعة الثّانية: كابل عادي متعدد القلوب مزودة بعازل من نوع (PVC).

3- المجموعة الثّالثة: موصلات أحادية القلب ممدودة في الهواء ومعزوله بعازل من نوع (XLPE).

ملاحظة: (AL): موصل مصنوع من الألمنيوم.

(Cu): موصل مصنوع من النحاس.

ويتم معرفة أفضل سعة تيارية لكابل ما من خلال معرفة تيار الحمل ($I_L$) وذلك بعد تحديد نوع التّيار الذي يغذي الحمل ""تيار مستمراً أو مترددا""، ونوع الدائرة التي يستخدم فيها هذا الكابل "" أحادية الطور أو ثلاثية الطور "" وطريقة التمديد. **إن اختيار مساحة مقطع الموصل المناسبة لحمل معين يتم باعتبار المتطلبات الآمنة الآتية:**

1) استغلال أفضل للسعة التّيارية للكوابل.
2) عدم تعدي هبوط الجهد المسموح به وهو (2.5- 3%) للتمديدات المنزلية وحوالي (5%) للتمديدات الصناعية وأقل من 2% للتمديدات في الأنظمة الشّمسية.
3) تحمل الكابل لتيار القصر($I_{SC}$) دون أن تحدث مضاعفات لذلك.

وبناءً على ما سبق يجب أن يتم اختيار نواقل التّيار الكهربائي بدقة وعناية فائقة، حيث لا تكون مساحة مقطعها أكبر أو أصغر من المطلوب؛ لأن اختيارها بمساحة مقطع أقل من المطلوب يسبب هبوطاً كبيراً في الجهد نتيجة زيادة مقاومتها، الأمر الذي يسبب انخفاضاً في قيمة القدرة الكهربائية المنقولة من مكان إلى آخر، أو قد يؤدي إلى ارتفاع درجة حرارة الموصلات، وبالتالي إلى نشوب حرائق نتيجة انصهار العازل المغلف لها، أما في حال اختيارها بمساحة مقطع أكبر من المناسب فذلك يؤدي إلى ارتفاع كلفة نقل الطّاقة. ويتم اختيار مساحة مقطع الكابلات المغذية من الجداول أو من خلال الحسابات مع مراعاة طريقة التمديد وظروفه، والجدول الآتي يوضح السعة الأمبيرية لكوابل XLPE مسلح، إضافة إلى مقدار الهبوط في الجهد.

قيم التّيار المقررة لكابل التغذية نوع XLPE مسلح

| مساحة المقطع $mm^2$ | التمديد على الحائط عدد القلوب | | التمديد على حمالة مع ثقوب عدد القلوب | | هبوط الجهد عدد القلوب(mV/A/m) | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 2 core | 3 or 4 core | 2 core | 3 or 4 core | 2 core | 3 or 4 core |
| 1.5 | 27 | 23 | 29 | 25 | 31 | 27 |
| 2.5 | 36 | 31 | 39 | 33 | 19 | 16 |
| 4 | 49 | 42 | 52 | 44 | 12 | 10 |
| 6 | 62 | 53 | 66 | 56 | 7.9 | 6.8 |
| 10 | 85 | 73 | 90 | 78 | 4.7 | 4 |

### حساب سعة وسيلة الحماية الكهربائية ( القاطع \ المصهر):

كما تم التعرف سابقا فإن قواطع الدارة الكهربائية ومصهرات تعمل بشكل أساسي على حماية الكوابل من التّيار ات العالية مثل تيارات القصر التي تسبب تلف الكوابل أو تحمله لإجهادات حرارية وكهربائية عالية جدا، إذ أن المادة العازلة للكابل تتحمل إجهادات حرارية وكهربائية معينة تحدد من قبل المصنع، حيث يتم اختيار القاطع بناء الكابل المستخدم وقيمة التّيار المار، ويتم حساب سعة القاطع كما يأتي:

- حساب قدرة الأحمال (P) المتصلة على الخط وتقاس بالوات (W)، ومن ثم حساب شدة التّيار ( I ) بحسب العلاقة لحمل تيار مستمر:

$$I = \frac{P}{V} \qquad (1-أ)$$

- في حالة حمل أحادي الطور (220 مثلا) فولتاً يكون تيار الحمل:

$$I_L = \frac{P}{V.\cos\varphi} \qquad (1-ب)$$

- في حالة حمل ثلاثيّ الطور (380 مثلا) فولت يكون تيار الحمل:

$$\sqrt{3} = 1.73 \quad I_L = \frac{P}{\sqrt{3}.V.\cos\varphi} \qquad (1-ج)$$

حيث إن:

$I_L$:تيار الخط للحمل (A). / cos φ: معامل القدرة. /$V_L$:جهد الخط (V).

كذلك يتم حساب التّيار الاسمي، حيث يتم ضرب ناتج القسمة كالتالي:

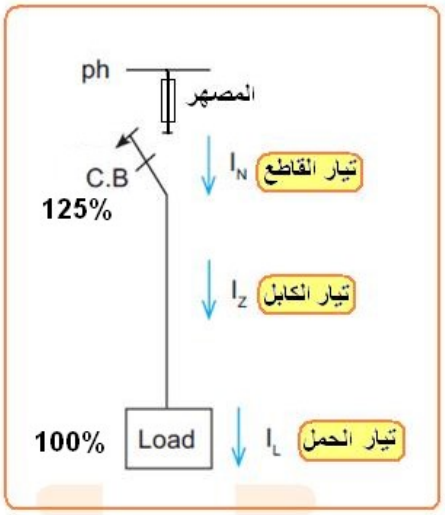
$$I_n = 125\% \times I_L \quad (2)$$

**القيمة 125%:** معامل أمان، تمثل معامل الضرب أو التضاعف ويعتمد على نوع الحمل، ويتم اختيار القاطع الأعلى والأقرب للنتيجة من خلال الجدول الخاص لاختيار القواطع.

يجب أن تتحقق العلاقة الآتية عند اختيار سعة القاطع وسعة الكابل المستخدم:

$$I_Z > I_N \geq I_L \quad (3)$$

حيث إن القيم المبينة في الشكل المجاور تدل على:




$I_L$ : تيار الحمل الاسمي.

$I_N$ : تيار القاطع أو المصهر.

$I_Z$ : أكبر تيار يتحمله الموصل.

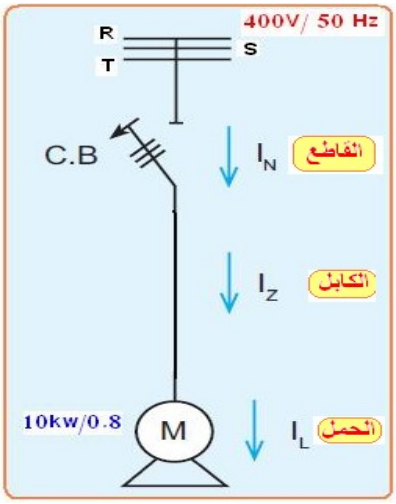
الجدول التالي يوضح العلاقة بين مساحة مقطع الكابل واختيار القاطع المناسب لكابل ال XLPE شائع الاستخدام، علما أن هناك جداول خاصة لمعظم الكوابل الأخرى.

مساحة مقطع الكابل المصنوع من النحاس والسعة الأمبيرية له ولوسيلة الحماية.

| Cu, XLPE, Temp= 30° | | |
|---|---|---|
| مساحة مقطع الموصل ($mm^2$) | التيار المقنن للقاطع (A) | التيار الإسمي للكابل (A) |
| 1.5 | 10 | 15 |
| 2.5 | 16 | 20 |
| 4 | 20 | 25 |
| 6 | 25 | 33 |
| 10 | 32 | 45 |
| 16 | 50 | 61 |
| 25 | 63 | 83 |
| 35 | 80 | 103 |
| 50 | 100 | 132 |

**مثال 1:** محرك حثي ثلاثي الطور مبين في المخطط المرفق قدرته (10KW) بمعامل قدرة (0.8)، ويعمل على فرق جهد مقداره (400V)، يراد تغذيته بشكل مباشر من مصدر الجهد ثلاثي الطور، أوجد مساحة مقطع الموصلات المناسبة لتغذية المحرك، وكذلك سعة قاطع الحماية الواجب استخدامه.

**الحلّ:**




$$I_L = \frac{P}{\sqrt{3}.V_L.cos\varphi}$$

$$= \frac{10x\,10^3}{1.73\,x\,400\,x\,0.8} = 18.04\,A$$

يتم إضافة عامل أمان للكابل المغذي ( بنسبة 25%)، وبالتالي تصبح قيمة تيار الحمل:

$$I_n = 125\% \times I_L$$

$$I_n = 125\% \times 18.04 = 22.553\ A$$

وبالرجوع إلى جدول تحمل الكابلات النحاسية السابق.

| Cu, XLPE, Temp= 30° | | |
|---|---|---|
| التيار الإسمي للكابل (A) | التيار المقنن للقاطع (A) | مساحة مقطع الموصل ($mm^2$) |
| 25 | 20 | 4 |
| 33 | 25 | 6 |

يتم اختيار كلّ من مساحة مقطع الكابل المغذي للحمل ووسيلة الحماية الخاصة به كما يلي:

**وسيلة الحماية ( القاطع الآلي ): $I_N$ = 25A**

**وعليه فإن مساحة مقطع الكابل: $I_Z$ = 33A هو ($6mm^2$)**

حيث إن العلاقة التالية يجب أن تتحقق:

$$I_Z \geq I_N \geq I_L$$

$$33A \geq 25A \geq 22.5A$$

| | |
|---|---|
| سؤال | احسب مساحة مقطع الموصل اللازم، وسعة القاطع المستخدم لتشغيل مدفأة كهربائية قدرتها (2.2KW/220V). |

يبين الجدول التالي القيم القياسية العالمية لتيار وسيلة الحماية المناسب لمساحة مقطع الموصلات المصنوعة من النّحاس (Cu) أو الألمنيوم(Al) عند درجة حرارة (30) درجة مئوية وذلك حسب طريقة التمديد المستخدمة.

تيار المصهرات (او القاطع) المستخدمة ($I_N$ (A حسب مساحة مقطع الموصلات عند درجة حرارة ٣٠ درجة مئوية:

| مساحة المقطع $mm^2$ | المجموعة الثالثة | | المجموعة الثانية | | المجموعة الأولى | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Cu A | Al A | Cu A | Al A | Cu A | Al A |
| 0.75 | 10 | -- | 6 | -- | – | -- |
| 1 | 10 | -- | 10 | -- | 6 | -- |
| 1.5 | 20 | -- | 10 | -- | 10 | -- |
| 2.5 | 25 | 20 | 20 | 16 | 16 | 10 |
| 4 | 35 | 25 | 25 | 20 | 20 | 16 |
| 6 | 50 | 35 | 35 | 25 | 25 | 20 |
| 10 | 63 | 50 | 50 | 35 | 35 | 25 |
| 16 | 80 | 63 | 63 | 50 | 50 | 35 |
| 25 | 100 | 80 | 80 | 63 | 63 | 50 |
| 35 | 125 | 100 | 100 | 80 | 80 | 63 |
| 50 | 160 | 125 | 125 | 100 | 100 | 80 |
| 70 | 200 | 160 | 160 | 125 | 125 | -- |
| 95 | 250 | 200 | 200 | 160 | 160 | -- |
| 120 | 315 | 250 | 250 | 200 | 200 | -- |
| 150 | 315 | 315 | 250 | 200 | – | -- |
| 185 | 400 | 315 | 315 | 250 | – | -- |
| 240 | 400 | 400 | 400 | 315 | – | -- |
| 300 | 500 | 400 | 400 | 315 | – | -- |

1- المجموعة الأولى: عبارة عن موصل أو موصلات عديدة مفرده ممددة داخل مواسير.

2- المجموعة الثّانية: كابل عادي متعدد القلوب مزودة بعازل من نوع (PVC).

3- المجموعة الثّالثة: موصلات أحادية القلب ممدودة في الهواء ومعزولة بعازل من نوع (XLPE).

### الهبوط في الجهد في الموصلات الكهربائية:

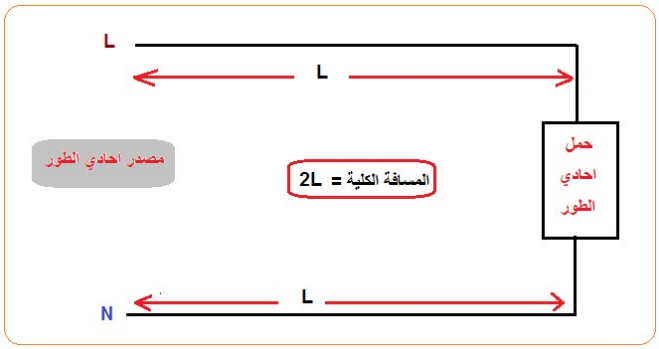
تلعب الأسلاك والكابلات الكهربائية دوراً مهماً في نقل الطّاقة الكهربائية، وفي صناعة المحولات والمحركات والمولدات الكهربائية وغيرها من الأجهزة الكهربائية، وكما مر معك سابقاً فإن لهذه الموصلات مقاومة تعتمد في قيمتها على طول السّلك (L) ومساحة مقطعه (A) ونوع مادته (ρ). وغالباً ما تكون هذه المقاومة غير مرغوب فيها؛ لأنها تسبب هبوطاً في الجهد على امتداد السلك النّاقل، وانخفاض في الطّاقة الكهربائية المنقولة. ويتم التعبير عن هذه المقاومة بالعلاقة الآتية:

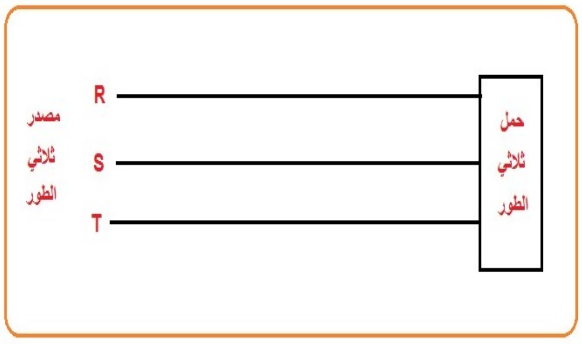
$$R = \frac{\rho * L}{A}$$

ويعرف الهبوط في الجهد على أنه الحالة التي يكون فيها الجهد عند الحمل أقل منه في بداية الخطّ عند المصدر. وتعتمد قيمة الهبوط في الجهد على مقاومة السلك وقيمة التّيار المار عبره. وبعد أن يتم حساب قيمة الهبوط في الجهد للدوائر الكهربائية يتم التعبير عنها من خلال نسبة مئوية، ومن المتعارف عليه أن نسبة الهبوط في الجهد في التركيبات الكهربائية أحادية الطور (المنزلية) لا تتجاوز (2.5–3%) من جهد الشّبكة، و(5%) للدوائر ثلاثية الطور (التركيباتالصناعية)، وبشكل عام يستخدم في التمديدات المنزلية أسلاك ($1.5\ mm^2$) لدوائر الإنارة وأسلاك ($2.5\ mm^2$) لدوائر القدرة.

وتنقسم الدوائر الكهربائية التي يتم حساب هبوط الجهد لها كما يلي:

1) هبوط الجهد لحمل أحادي الطور.
2) هبوط الجهد لحمل ثلاثي الطور.
3) هبوط الجهد لحمل تيار الثابت (DC).




ولحساب النسبة المئوية لهبوط الجهد في الدوائر الكهربائية نستخدم العلاقة الآتية:

**النسبة المئوية للهبوط في الجهد** = $\frac{\text{الهبوط في الجهد}}{\text{جهد الطور}}$ X %100 ------ **1Ø**

**النسبة المئوية للهبوط في الجهد** = $\frac{\text{الهبوط في الجهد}}{\text{جهد الخط}}$ X %100 ------ **3Ø**

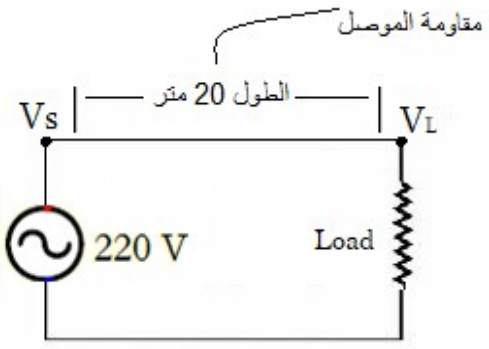
**إن تعدي نسبة هبوط الجهد المسموح بها يؤدي إلي:**

1- زيادة في قيمة تيار الحمل نتيجة ارتفاع درجة حرارة الموصلات وانخفاض الجهد.
2- تشغيل الأجهزة والمعدات الكهربائية (وحدات الإنارة /مضخات/ وحدات تسخين/ مكيفات/...) المتصلة بواسطة موصلات التغذية بكفاءة أقل.
3- تقليل عمر الأجهزة التي تعمل عند جهد أقل من المسموح بشكل ملحوظ.

| | |
|---|---|
| سؤال | إن نسبة هبوط الجهد المسموح بها في التمديدات الكهربائية هي 2.5% للتمديدات المنزلية أحادية الطور و5% للتمديدات الصناعية ثلاثية الطور، إذا علمت أن الجهد الاسمي للمصادر احادي الطور 230 فولتا وثلاثي الطور 400 فولت، احسب أقل قيمة جهد مسموح بها؟ |

**مثال1:** حمل كهربائي مادي منزلي يعمل على جهد 220 فولتاً وقدرته 5 KW فإذا كانت المسافة بين الحمل والمصدر 20 متراً، ومساحة مقطع الموصل $2.5mm^2$، مع العلم أن المقاومة النوعية للنحاس 0.0178اوم. ملم²/ متر.

**الحل:** نرسم الدائرة وتحديد المعطيات




بما أن الحمل مادي فإن معامل القدرة (Cosɵ=1)

$$I=\frac{P}{V}=\frac{5000}{220}=22.73\ A$$

نحسب مقاومة الموصل:

$$R=\frac{\rho*L}{A}=\frac{0.0178\times 20\times 2}{2.5}=0.2848\ \Omega$$

مقدار الهبوط في الجهد = قيمة التّيار X مقدار مقاومة الموصل

= 22.73 X 0.2848 = V6.47

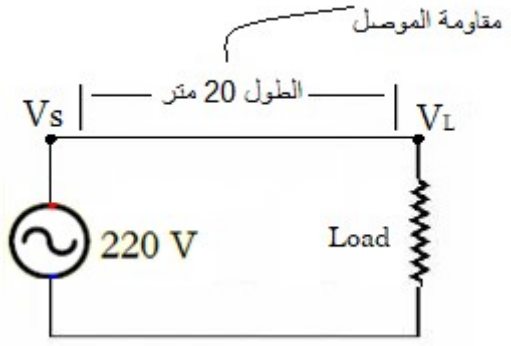
أي أن قيمة الجهد الواصلة إلى الحمل($V_L$)=220- 6.47= 213.53 فولتا

مقدار الهبوط في الجهد (%) = $\frac{6.47}{220}*\%100=\%\ 2.94$

أي أن نسبة الهبوط في الجهد هي 2.94 % وهذه النسبة تعتبر مقبولة للتمديدات المنزلية، وعليه فإن اختيار مساحة المقطع في الدارة السابقة كان موفقاً إذا ما ضمنا أن معامل القدرة سيبقى واحداً صحيحاً.

| | |
|---|---|
| سؤال | احسب أكبر مسافة ممكنه ما بين مصدر تغذية آحادي الطور وحملا كهربائيا *مادياً* قدرته (3.5 KW) إذا استُخدم موصل مساحة مقطعه (2.5) ملم مربع مصنوع من النحاس؟ |

**مثال2:** حمل كهربائي مادي يعمل على جهد 220 فولتاً وقدرته 6 KW فإذا كانت المسافة بين الحمل والمصدر 20 متراً، فما مساحة المقطع الموصل مع العلم أن المقاومة النوعية للنحاس 0.0178اوم ملم²/ متر، وما قيمة الهبوط في الجهد في هذه الدارة.




**الحل:** نرسم الدائرة وتحديد المعطيات

بما أن الحمل مادي فإن معامل القدرة (cosθ=1)

$$I=\frac{P}{V}=\frac{6000}{220}=27.273\ A$$

من الجدول السابق فإن مساحة مقطع الموصل = $4mm^2$

نحسب مقاومة الموصل:

$$R=\frac{\rho*L}{A}=\frac{0.0178\times 20\times 2}{4}=0.178\ \Omega$$

مقدار الهبوط في الجهد = قيمة التّيار X مقدار مقاومة الموصل

$$V4.855 = 0.178 \quad X \quad 27.273 =$$

أي أن قيمة الجهد الواصلة إلى الحمل($V_L$)=220− 4.855= 215.145 فولت

$$\text{مقدار الهبوط في الجهد (\%)} = \frac{4.855}{220}*\%100 = \%\ 2.21$$

| نشاط (2):- | وهناك طرق أخرى مختلفة لحساب الهبوط في الجهد للكوابل بالاعتماد على نوعه وحسب تعليمات المصنع (جداول)، وعليه اعمل بحثاً ورقياً عن طرق حساب الهبوط في الجهد ثم ناقشها. |
|---|---|

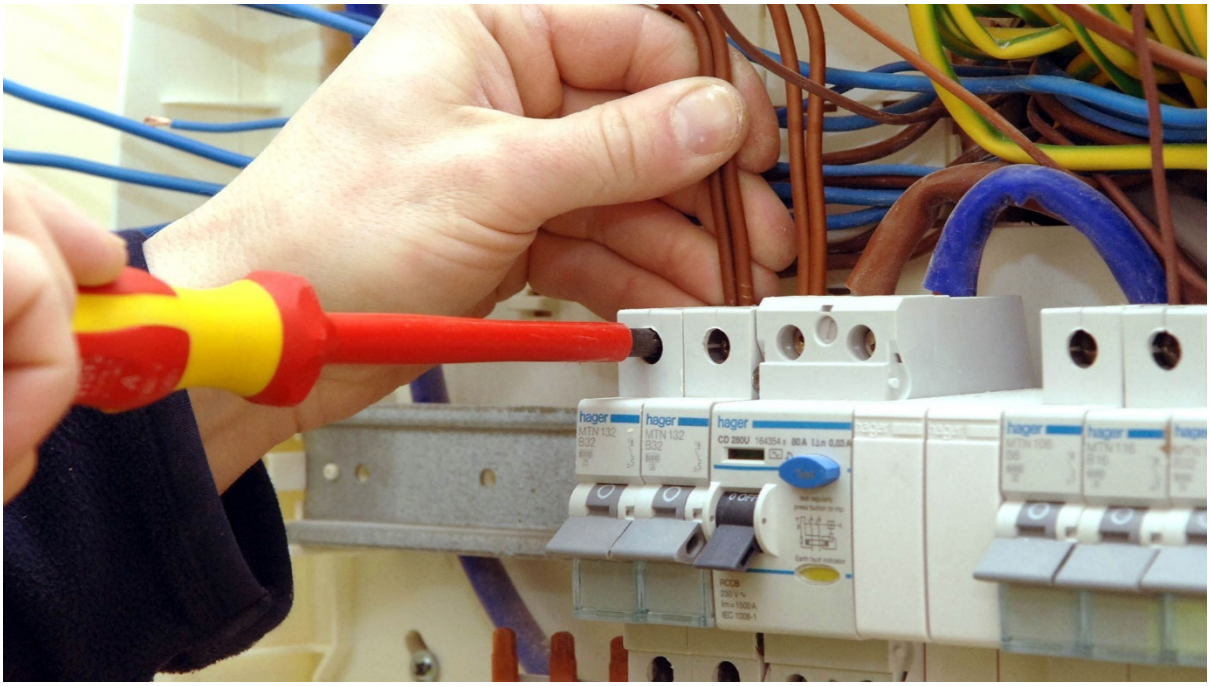
| أسئلة الدرس | |
|---|---|
| 1- | عرف المقصود بكلٍ من السّعة الأمبيرية للكابل والهبوط في الجهد. |
| 2- | - يكون مستوى التّيار المقرر لكابل مطمور في الأرض _____من الكابل الممدود في الهواء.<br>- نسبة الهبوط في الجهد في التركيبات الكهربائية المنزلية يجب ألا تتجاوز_____من جهد الشبكة.<br>- وهناك آليات عديدة لتمديد الكوابل_____و_____و_____. |
| 3- | علل: يجب أن يتم اختيار نواقل التّيار الكهربائيّ، حيث لا تكون مساحة مقطعها أكبر أو أصغر من المطلوب. |
| 4- | حمل كهربائي منزلي يعمل على جهد 220 فولتاً وقدرته 3KWو معامل القدرة 0.9 فإذا كانت المسافة بين الحمل والمصدر 25 متراً، ما مساحة مقطع الموصل إذا علمت أن المقاومة النوعية للنحاس 0.0178 أوم. |
| 5- | اذكر اعتبارات الأمان لاختيار مساحة مقطع موصل المناسبة للأحمال الكهربائية؟ |

| أسئلة الوَحْدة: | |
|---|---|
| 1- | اختر رمز الإجابة الصحيحة فيما يلي:<br>1- في حال حدوث هبوط للجهد يكون الجهد عند الحمل:<br>أ- أكبر من الجهد عند المصدر. ب-أقل من الجهد عند المصدر.<br>ج- مساوياً للجهد عند المصدر. د-تعتمد على التّيار المار بالموصل.<br><br>2- تتميز القواطع عن المصاهر بأنها:<br>أ- أرخص ثمناً. ب-أصغر حجماً.<br>ج- يمكن تشغيله بعد إزالة العطل. د-أبسط في التركيب.<br><br>3- تبلغ الموصلية للألمنيوم مقارنة بالنحاس.<br>أ- الثلث. ب-الربع. ج-الثلثين د-النصف. |
| 2- | قارن مقارنة كاملة بين نظام التوزيع الحلقي والتشعبي في أنظمة النقل الكهربائية. |
| 3- | ما ميزات القواطع الآلية المقولبة(MCCB)؟ |
| 4- | عرف السّعة الأمبيرية للكابل. |
| 5- | حمل كهربائي مادي يعمل على جهد 110 فولت وقدرته KW5 فإذا كانت المسافة بين الحمل والمصدر 30 متراً، فما مساحة المقطع الموصل مع العلم أن المقاومة النوعية للنحاس 0.0178 أوم ملم²/ متر، وما قيمة الهبوط في الجهد في هذه الدارة؟ وهل هي مقبولة لتشغيل الأجهزة الكهربائية؟ |

# الوَحْـــــــدة

# 2

# التّمديدات الكهربائيّة




" تبنى البيوت بالعلم والأدب"

## مقدمة الوَحْدة:

تعتبر التمديدات الكهربائية عنصراً أساسياً في المنظومة الكهربائية، حيث تقوم بتوزيع الطّاقة الكهربائية إلى أنحاء المنشأة كافة من نقطة الربط مع شركة الكهرباء إلى النقاط النهائية التي سيتعامل معها مستخدمو المنشأة.

يتسع مفهوم التمديدات الكهربائية ليصل أيضاً إلى أنظمة الجهود المنخفضة، مثل شبكات (الإنترنت)، والهاتف وصولاً إلى أنظمة المراقبة، والتأريض، وإنذار الحريق. تبدأ عملية التمديدات الكهربائية من مرحلة التخطيط للمبنى انتهاءً باستخدامه النهائي، فهناك بعض الإجراءات التي يجب القيام بها لتنفيذ بعض أعمال التمديدات الكهربائية في مرحلة القواعد للمبنى مروراً بمراحل الأعمال المدنية كافة وصولاً إلى المرحلة النهائية وهي تركيب العفش والأجهزة الكهربائية.

يجب أن يتم تنفيذ التمديدات الكهربائية بشكل محترف ومطابق للمواصفات، فوجود خلل في التمديدات قد يؤدي إلى حدوث إصابات مباشرة للمستخدمين أو حدوث مخاطر، مثل الحرائق، وصولاً إلى مشكلات تتعلق بمطابقة المنشأة لتعليمات البناء الخاصة بشركات الكهرباء والاتصالات، مما يؤدي في بعض الأحيان إلى عدم منح المنشأة التصاريح اللازمة إلا بعد إجراء تعديلات مكلفة.

## أهداف الوَحْدة:

**يتوقع من الطّالب في نهاية هذه الوحدة أن يكون قادراً على:**

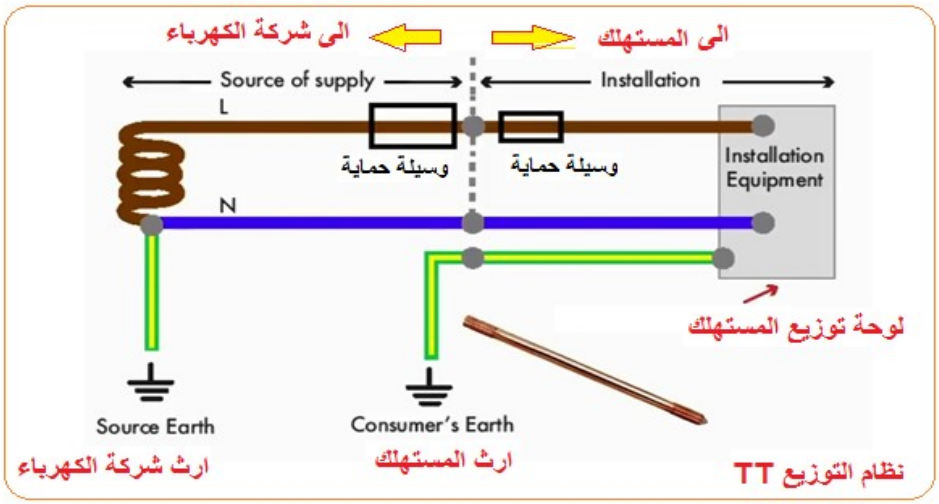
1. تمييز أنظمة التأريض المختلفة للتمديدات الكهربائية، ومكوّناتها.
2. تحديد مراحل تنفيذ التمديدات الكهربائية، وشروطها.
3. قراءة مخططات التمديدات الكهربائية.
4. تحديد طرق تنفيذ التمديدات الكهربائية، ومواصفاتها.
5. تحديد أماكن تركيب اللوحات الكهربائية، ومواصفاتها، وأنواعها، ومكوناتها.
6. تحديد مكونات نظام الحماية من الصّواعق، وطريقة تركيبه.
7. تحديد الفحوصات الكهربائية ما قبل التّسليم والفحص العيني للتركيبات الكهربائية.

يعدّ نظام التأريض أحد أهم مكوّنات النظام الكهربائيّ، حيث يلعب دوراً أساسياً في اختيار أجهزة الحماية وخصائصها، إضافة إلى حماية الإنسان والأجهزة من الخطر الكهربائي، وكلمة تأريض تعني التوصيل مع الأرض.

**التأريض:** هو التوصيل الكهربائي الجيد بين الأجزاء المعدنية التي لا يسري فيها التيار الموصل للتيار الكهربائي وغير الحامل للتّيار الكهربائي في الحالة العادية بالأرض. والأرض تعدّ كتلة ضخمة جهدها مساوٍ للصف.

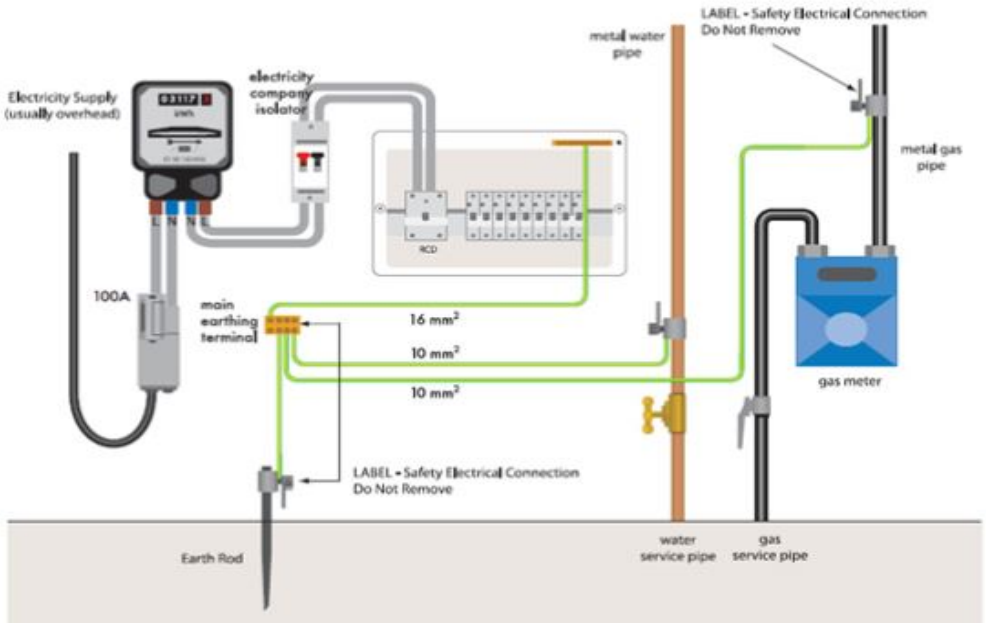
بما أن الأشخاص على اتصال بالأرض والأجزاء المعدنية تظهر عليها شحنة كهربائية تصبح خطرة على الإنسان إذا لامسها؛ وذلك بسبب تكون فرق في الجهد على جسم الإنسان. وبناءً عليه فإنه يتم توصيل الأجزاء المعدنية جميعها بالأرض هو من أساليب الحماية الفعالة في النظم الكهربائية، ويسمى هذا الأسلوب **بالتأريض الوقائي.**

تتعدد أنواع أنظمة توزيع الطّاقة الكهربائية إلى المستهلكين، وتعمل الشركات الفلسطينية بنظام (TT)، والذي يعتبر نظام توزيع اقتصادي من الدرجة الأولى بالنسبة لشركات توزيع الكهرباء، حيث يظهر الشكل إلى اليسار كابل التغذية الخاص بشركة توزيع الكهرباء بنظام أحادي الطور(خطين أحدهما الطور(L)، والآخر الخط المتعادل(N))، ولا تقوم شركة الكهرباء بتوزيع خط (الإرث) في هذا النظام، وإنما يقتصر الأمر على تأريض نقطة التعادل عند محول التوزيع الرئيسي فقط، حيث يتم ربط الخط المتعادل للمحول بالأرض مباشرة، والشكل الآتي يوضح نظام التوزيع (TT).



| | |
|---|---|
| نشاط(1): | مستعيناً بالمكتبة أو بشكبة (الإنترنت)، ابحث عن معنى اختصار TT ، وناقشه مع زملائك، ولماذا يعتبر نظاماً اقتصادياً بالنسبة لشركات التوزيع؟ |

ويتوجب على كل مستهلك بناء وتأسيس نظام الإرث الخاص به، وذلك ضمن الطرق المختلفة من خلال استخدام قضيب "الألكترود" في حفرة تأريض خاصة بكل مستهلك. ويجب ألا تتعدى قيمة مقاومة نظام التأريض الخاص بكل مستهلك عن(5 أوم). وتشمل عملية التأريض الأنابيب المعدنية، والمجاري المعدنية، وصواني الكوابل، وهياكل الآلات الكهربائية، والأجزاء المعدنية المكشوفة للأجهزة الكهربائية، وهياكل لوحات التوزيع الرئيسية والفرعية وغيرها من الأجهزة المعرضة للتماس مع أيّ من الخطوط الحاملة للتيّار، كما في الشكل الآتي. إضافة لذلك، فإن الموصلات الكهربائية الموصلة للتيار الكهربائي جميعها كالأسلاك الكهربائية والكابلات يجب أن تكون معزولة بشكل جيد حتى لا تصبح سبباً للصدمة الكهربائية.




هناك عوامل مختلفة تؤثّر على **مدى فاعلية نظام التأريض**، أهمها:

1) مقاومة وسيلة التأريض المستخدمة.
2) مقاومة التربة التي توضع فيها.

ومع توفر الأجهزة المناسبة التي يمكن من خلالها قياس مقاومة خط الإرث ومقاومة التربة، يمكننا تصميم نظام تأريض فعال، حيث يتم تحقيق الهدف الرئيسي من هذين العاملين، وهو توفير**أقل مقاومة ممكنة** لمسار تيار التسريب.

## طريقة اختيار موصلات التأريض:

يتم اختيار مساحة مقطع موصلات التأريض، حيث تكون مقاومتها منخفضة بدرجة كافية، والجدول الآتي يوضّح علاقة مساحة مقطع خط الفاز ومساحة خط التأريض المطلوب استخدامه في الدارة نفسها.

| مساحة مقطع الأوجه | 1 | 1.5 | 2.5 | 4 | 6 | 10 | 16 | 25 | 35 | 50 | 70 | 90 | 120 | 150 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| مساحة مقطع موصل الوقاية المعزول مم$^2$ | 1 | 1.5 | 2.5 | 4 | 6 | 10 | 16 | 16 | 16 | 25 | 35 | 50 | 70 | 70 |

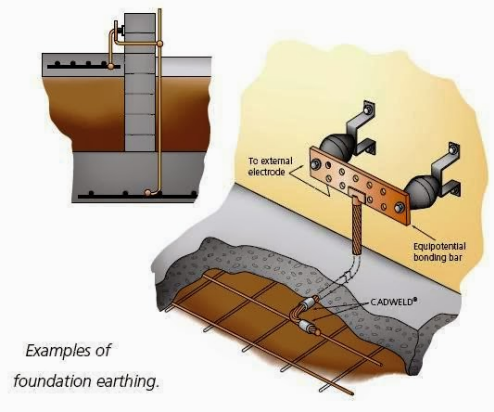
## آليات التأريض

يمكن تأسيس نظام تأريض خاص بالمنشأة باتباع أحد الطرق الآتية:

**[1] التأريض باستخدام لحام شبكة حديد أساسات البناء.**

**[2] التأريض باستخدام التّوصيل المباشر بإلكترود التأريض.**

### أولا : التأريض باستخدام لحام شبكة حديد الأساسات:



*Examples of foundation earthing.*

تتم هذه الطريقة من خلال وصل أسلاك التأريض إلى أساسات المبنى (حديد التسليح)، ويجب أن يُراعى اختيار قضبان تسليح خاصة لهذا الغرض، حيث يتم لحام هذه القضبان لتكون مساراً مباشراً إبتداءً من جسر التأريض وانتهاءً بأساسات المبنى وربطها بحفرة التأريض. ويكمن الاستغناء عن لحام قضبان التسليح من خلال مد شريط نحاسيّ أو حديد مجلفن داخل خرسانة المبنى من نقطة التأريض وصولا على حفرة التأريض في أرضية المبنى ووصل هذا الشريط بحفرة التأريض.

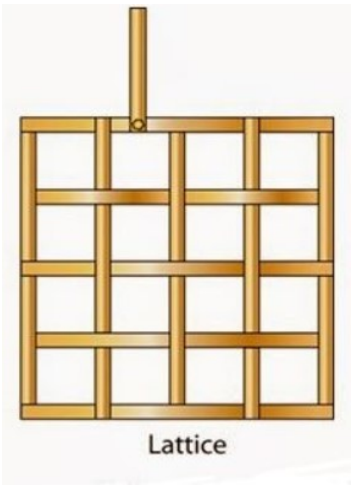
**ثانياً: التأريض بالوصلة المباشرة:**

يستخدم كابل تأريض نحاسي لربط جسر التأريض الرئيسيّ مع إلكترودات التأريض بشكل مباشر، ويمرّ هذا الكابل إما في داخل أنابيب موجودة في خرسانة المبنى أو يتم مده في سلال معدنية.

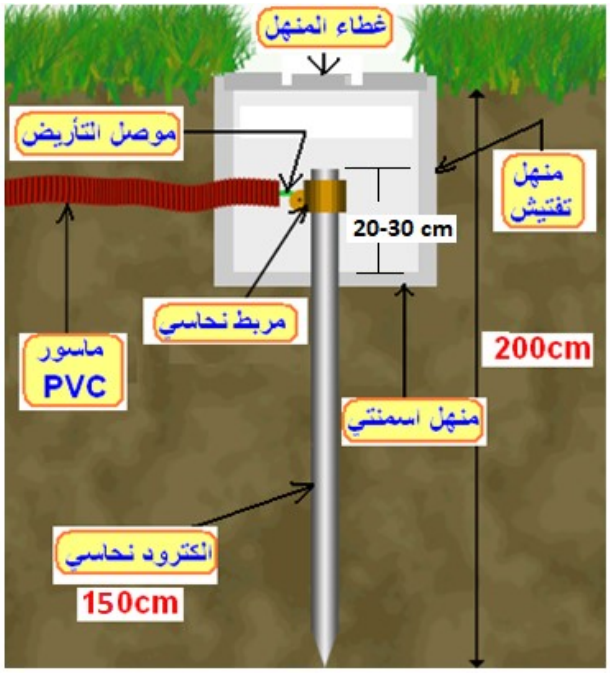
إشارة إلى أنه يمكن استخدام شبكة المياه الرئيسية كموصل مساعد لنظام التأريض، وتتم هذه العملية بربط جسر التأريض بأنابيب المياه المستخدمة في المبنى، ومن ثم وصل هذه الأنابيب مع بعضها بعضاً وصولاً إلى حفرة التأريض لتشكيل مسار مباشر من جسر التأريض إلى قضبان التأريض، ولنجاح العملية يشترط أن تكون الأنابيب المستخدمة معدنية.

تستخدم إلكترودات التأريض في كل الحالات السابقة، حيث تعدّ النقطة الرئيسية التي يتم فيها تفريغ التّيار الكهربائي الزائد في الأرض. وتوضع هذه الإلكترودات داخل نظام حفر معين يسمّى حفر التأريض وتتكون من:

1) وسيلة التأريض وهي إلكترودات "قضبان" نحاسية يتم غرسها في التربة، ليتم إنشاء مسار للتيار بين نظام التأريض والأرض وفي بعض الحالات يتم استخدام وسائل إضافية لتحسين قيم التأريض مثل الشّبكات أو الصفائح النحاسية.
2) حفرة التفتيش وهي عبارة عن حفرة مكونة من البلاستك أو الخرسانة لها غطاء متحرك يتم وضعه فوق قضيب التأريض لغرض حماية نقطة التّوصيل مع موصل التأريض من الدفن ولأغراض الصيانة.
3) ملحقات نظام التأريض مثل المرابط الخاصة بتثبيت موصل التأريض القادم من جسر التأريض الرئيسيّ في لوحة التوزيع بقضيب التأريض وبعض الملحقات الأخرى الخاصة بإلكترودات.



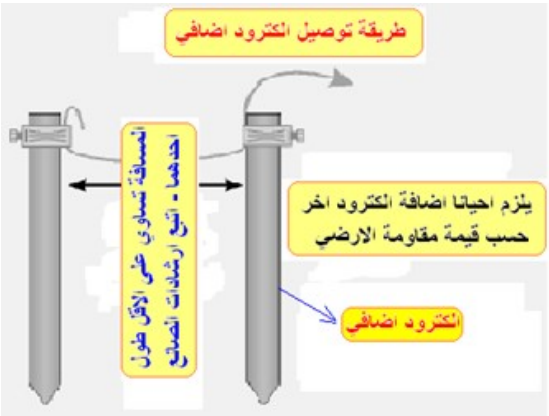
تجدر الإشارة إلى أن التربة التي يتم وضع حفر التأريض فيها تؤثر بشكل كبير على تصميم نظام التأريض، حيث تسهم في تحديد قيم مقاومة الأرضي وعدد القضبان المطلوبة، وآلية وضعها وتركيبها. والشكل المجاور يوضّح مكوّنات حفرة التأريض.



**قضيب التأريض (الالكترود)Earthing Rod:**

وهو عبارة عن قضيب أسطواني قابل للطرق في الجزء العلوي ومدبب في نهايته، ومصنوع من النحاس النقي أو من الحديد المغلف بطبقة من النحاس، ويتوفر بأطوال ومساحات مختلفة أكثرها شيوعاً في فلسطين ( 150 سم/ ومقطع16 ملم2)، ويتم اختيار أبعاد حفر التأريض، وعدد القضبان المطلوبة بناء على مواصفات نظام التأريض المطلوب تحقيقه للمبنى.

| | |
|---|---|
| نشاط(2): | مستعيناً بالمكتبة أو بشكبة (الإنترنت)، ابحث عن ميزات وعيوب كلّ من الإلكترودات النحاسية و الحديدية المطلية بالنحاس. |




تعتمد قيمة المقاومة بين قضيب التأريض والتربة المحيطة به على مساحة التلامس بينهما، لذلك لا يشترط وضع قضيب التأريض بشكل عامودي، وعليه يمكن لاعتبارات خاصة بالتربة، مثل وجود صخور تمنع تركيب إلكترود التأريض بشكل عامودي أن يتم تركيبه بزاوية ميل مختلفة او حتى دفنه بشكل أفقي في الأرض.

تمتلك بعض أنواع التربة مقاومة عالية لذلك قد لا يكفي تركيب قضيب تأريض أحد للحصول على قيمة التأريض المطلوبة وعليه فإننا نحتاج إلى تركيب أكثر من قضيب إما طولياً بشكل عامودي أو أفقيا بغرز قضبان عديدة ووصلها على التوازي.

**قياس مقاومة التربة:**

تعد التربة من العوامل الأساسية التي تؤثر على قيمة مقاومة نظام التأريض، حيث يوجد ترابط مباشر بين مقاومية التربة وقيمة المقاومة النهائية لنظام التأريض، إذ إن وسيلة التأريض المستخدمة عادة ما تتمتع بقيمة مقاومة منخفضة؛ لأنها مصنعة من مادة جيدة التّوصيل، كالحديد المطلي بطبقة من النحاس أو من النحاس الخالص، بناءً عليه فإن التربة التي سيتم وضع حفر التأريض فيها هي العامل الرئيسي لتحديد قيم مقاومة نظام التأريض. يتم إجراء فحص لمقاومية التربة قبل البدء بتصميم نظام التأريض **وتساعد هذا الخطوة على:**

- اختيار أفضل موقع حفر التأريض.
- اختيار العمق المناسب.
- اختيار نوع وعدد وشكل وسائل التأريض.
- اتخاذ القرار بضرورة تحسين مقاومية التربة.

تحتلف قيم المقاومية للتربة باختلاف أنواعها، حيث تؤثّر عوامل مثل التركيب الكيميائي للتربة ومستوى رطوبتها على هذه القيم، فمثلاً التربة الملحية الرطبة من أكثر الأنواع انخفاضاً للمقاومية، ويليها التربة الطينية الرطبة، أما التربة الصخرية والرملية فتمتاز بمقاومية عالية، مما يتعكس سلبياً على صعوبة تصميم أنظمة التركيب وتركيبها.

**يمكن أجراء بعض التحسينات لأنواع التربة المنخفضة المقاومية،** تتم عملية تحسين المقاومة النوعية للتربة وذلك عن طريق المعالجة الكيميائية للتربة، حيث تستخدم كبريتات المغنيسيوم أو كبريتات النّحاس، ولا ينصح باستخدام ملح الطعام والفحم بمفرده لتحسين مقاومة التربة، وذلك لأنها تسرع اهتراء القضبان وتعطي فقط نتائج مؤقته (عند توافر الرطوبة).

**العوامل المؤثرة في قيمة مقاومة الإرث فيما يتعلق بوسيلة التأريض:**

1. زيادة مساحة مقطع الإلكترود.
2. زيادة مسافة دفن الالكترود وطوله تؤثر في تقليل قيمة مقاومة الإرث.
3. زيادة عدد الإلكترودات يؤدي إلى تقليل قيمة مقاومة الإرث (يتم توصيلها على التوازي).

| **أسئلة الدرس:** | |
|---|---|
| 1- | عرف التأريض في الأنظمة الكهربائية. |
| 2- | ما العوامل التي تؤثر في فعالية نظام التأريض؟ |
| 3- | ما ميزات التأريض باستخدام الوصلة المباشرة؟ |

| 2 | الدرس الثاني | مراحل تنفيذ أعمال التمديدات الكهربائية ومواصفاتها |
|---|---|---|

تنفذ أعمال التمديدات الكهربائية المنزلية على مراحل عديدة متوالية، حيث تبدأ من مرحلة تأسيس المبنى من خلال أعمال تأريض المنزل بواسطة لحام شبكة حديد الأساسات لعمل خط الإرث الرئيسي، وإيصاله إلى لوحة الكهرباء الرئيسية، وتتدرج إلى مرحلة تمديد المواسير في الأسقف، ومن ثم تمديدها في الجدران الجانبية والأرضيات وهكذا تباعاً.

يبيّن الجدول التالي **مراحل تنفيذ الأعمال الكهربائية المختلفة** بغرض توصيل التّيار الكهربائي لشقة سكنية.

| رقم | اسم المرحلة | ملاحظات |
|---|---|---|
| 1 | تمديد قنوات الأسلاك داخل سقف المبنى (قبل الصب) وتربيطها بأسلاك البناء، وتثبيت العلب الخاصة بناء على المخططات الكهربائية لكلّ من الإنارة والأباريز حسب مواقعها. | يسبقها مرحلة لحام شبكة حديد الأساسات لتوصيل خطّ الإرث لمكان تواجد اللوحة الرئيسية. |
| 2 | التّخطيط لمواقع وأماكن تركيب العلب الخاصة بالمفاتيح والأباريز ولوحة التوزيع الفرعية داخل المنزل حسب المخططات الكهربائية. | |
| 3 | الحفر في الجدران الجانبية لتركيب العلب الخاصة بكلّ من المفاتيح والأباريز ولوحة التوزيع الفرعية داخل المنزل مع ضرورة ترتيب قنوات التوصيل والتأكد من سلامتها. | يسبقها مرحلة أعمال تقطيع الطوب، وقد تتماشى مع أعمال التمديدات الصّحية. |
| 4 | تثبيت العلب في الجدران الداخلية للطوب وتثبيتها. | |
| 5 | تثبيت القنوات (المواسير) في الجدران الجانبية والأرضيات إما باستخدام الإسمنت أو باستخدام براغي تثبيت خاصة. | يجب ألا تتعارض مع أعمال التمديدات الصحية. |
| 6 | سحب وتمديد الأسلاك الخاصة بالمفاتيح والأباريز من مواقعها إلى كلّ من مخارج القدرة والمفاتيح ولوحة التوزيع الفرعية. | يفضل البدء بأعمال سحب الأسلاك قبل أعمال البلاط. |
| 7 | توصيل الأسلاك مع كل من لوحة الأمانات (تركيب القواطع داخل اللوحة) وتثبيت الأسلاك مع المفاتيح والأباريز في العلب | تتم بعد الانتهاء من أعمال القصارة وبعد أعمال البلاط. |
| 8 | تركيب الإطارات والأغطية للمفاتيح والأباريز ولوحة الأمانات. | بعد الانتهاء من الدهان. |
| 9 | فحص وحدات الإنارة والأباريز وتشغيلها وغيرها من المستلزمات قبل عملية التسليم النهائي للتّركيبات الكهربائية المختلفة. | |

## أنواع قنوات تمديد الأسلاك الداخلية:

### 1) قنوات بلاستيكية مرنة:

تستخدم المواسير البلاستكية المرنة (PVC)المبينة في الشكل التالي في التمديدات الكهربائية الداخلية لسهولة ثنيها إلى الشكل المطلوب، وتعمل على حماية الأسلاك من المؤثرات الميكانيكية والرطوبة، وتمتاز بعازليتها الكبيرة.

### 2) قنوات بلاستيكية حلزونية: (Flexible Pipes)

تتميز بمرونتها العالية وسهولة تشكلها، ويوجد منها أحجام وألوان مختلفة، وتستخدم هذه القنوات ذات الأقطار الصغيرة 13مم، في أعمال التأسيس الداخلية على نطاق ضيق ولمسافات قصيرة، وذلك لعدم متانتها وقابليتها للكسر عند ثنيها بشكل حاد.

**مقاسات الأنابيب البلاستيكية واتساعها للأسلاك**

يحدد حجم الماسورة البلاستيكية وفقاً لقطرها الداخلي والذي يعطى بالإنش أو بملمتر. واختيار حجم الماسورة يعتمد على عدد الأسلاك المراد تمديدها بالماسورة، ويجب أن يراعى ألا يقل معامل الفراغ داخل الماسورة عن40%، ويبيّن الجدول التالي مقاسات الأنابيب البلاستيكية وعدد الموصلات من كلّ مساحة مقطع التي تتسع داخلها.

| مساحة مقطع الأسلاك ($ملم^2$) / قطر الماسورة (ملم) | 1.5 | 2.5 | 4 | 6 | 10 | 16 | 25 | 35 | 50 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **16** | 8 | 5 | 3 | 2 | – | – | – | – | – |
| **20** | 11 | 8 | 7 | 4 | 2 | 2 | 1 | 1 | – |
| **25** | 18 | 14 | 12 | 7 | 4 | 3 | 2 | 1 | 1 |
| **32** | 30 | 23 | 20 | 12 | 7 | 5 | 3 | 2 | 2 |
| **38** | 45 | 35 | 30 | 18 | 11 | 8 | 5 | 4 | 3 |
| **50** | 79 | 62 | 52 | 32 | 20 | 14 | 9 | 7 | 5 |

**شروط تمديد المواسير البلاستيكية المرنة:( PVC)**

هناك شروط عديدة يجب التقيد بها عند إجراء تمديدات المواسير البلاستكية المرنة، منها:

1. يجب أن يتناسب قطر الماسورة مع عدد الأسلاك المارة فيها، ولا يجوز أن تشكل الأسلاك أكثر من 60% من مساحة مقطع الماسورة
2. يمنع استخدام مواسير بلاستيكية أقل من 16ملم (4/3 إنش) للتمديدات المنزلية جميعها.
3. يجب إبعاد المواسير الخاصة بالتمديدات الكهربائية عن مواسير الخدمات الأخرى المتعلقة بالماء والتدفئة والغاز.
4. لا يسمح بتمديد أكثر من دائرة واحدة بالماسورة نفسها.
5. يجب أن تسلك المواسير البلاستيكية المرنة أقصر المسافات عند التمديد.
6. يجب ألا يقل قطر الماسورة الرئيسية التي تستخدم لنقل خطوط التغذية الكهربائية للمبنى عن 2 إنش.
7. يمنع ثني الأنبوب بزاوية قائمة ، وإذا كان هناك حاجة لذلك يلزم استخدام علبة سحب بلاستيكية لتغيير الاتجاه.
8. يجب أن يتم وضع علب تسحيب(توزيع)بعد كل مسافة مستقيمة تزيد عن15م من طول الأنبوب.

**علب تجميع المواسير البلاستيكية المرنة:**

تستخدم علب التجميع في تأسيس التمديدات الكهربائية داخل الأسقف والجدران، وتكون إما دائرية أو مضلعة، وتصنع بمقاسات وأنواع مختلفة، وتصنف علب المواسير البلاستيكية إلى:

**علب المفاتيح والأباريز ومخارج التلفاز والتلفون:**

شكلها في النظام القديم دائريّ، أما الحديث فهو مضلع، يوجد منها مقاسات مختلفة، وتثبت علب المفاتيح في الجدار على ارتفاع من 120–130 سم من سطح الأرض، أما علب الأباريز فتثبت على ارتفاع 60 سم عن سطح البلاط باستثناء المطبخ والحمامات، حيث يتم توزيعها على ارتفاع 130– 140سم أو حسب المخطط المرفق.

**علب تجميع السقف( الدائرية) :**

توضع هذه العلب في السقف تحت نقاط الإنارة والإنذار، وتجمع مواسير عديدة معاً، وهي في العادة تكون دائرية الشكل، يوجد لها غطاء يمنع دخول الباطون إلى العلبة أثناء صب السقف، ويوجد منها ألوان عديدة تبعاً لطبيعة الاستخدام.

**علب تجميع مضلعة الشكل:**

تثبت على الجدار وتجمع أنابيب عديدة مختلفة، ولها مقاسات مختلفة، وتثبت علب التجميع الخاصة بالجهد المنخفض على مسافة 40 سم من سطح البلاط، أما علب تجميع الإنارة الموجودة على الجدران فتثبت على مسافة 30سم تحت سقف العقدة، ويبين الجدول الآتي مقاسات علب التجميع.

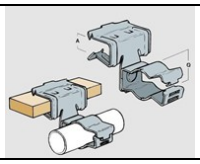
| الأبعاد (D (mm) x W x H) |
|---|
| 95 x 95 x 45 |
| 95 x 120 x 50 |
| 95 x 120 x 70 |
| 100 x 155 x 70 |
| 130 x 160 x 70 |

علب التجميع التوزيع وعلب المفاتيح والأباريز

| الاسم | التّوضيح | الشّكل |
|---|---|---|
| علبة توزيع 8 أطراف<br>Box with 8 outlet | تثبت بالسقف، لها غطاء بلاستيكي. | |
| علب مفاتيح<br>Switch box modules | تثبت على الجدران، يوجد منها مقاسات على 3،4،6 مواضع. | |
| علب توزيع دائرية<br>Round distribution box | نوع قديم، لها فتحات عديدة تستخدم حسب الحاجة، لها غطاء بلاستيكي. | |
| علب توزيع<br>Distribution box | تثبت على الجدران فقط. | |

**مرابط تثبيت المواسير البلاستيكية الصلبة**

تستعمل هذه المرابط لتثبيت المواسير البلاستيكية الصّلبة على الجدران والأسقف والأرضيات، كما في الجدول الآتي:

| | | | |
|---|---|---|---|
| مربط بقاعدة | | مشبك كبس | |
| مربط دون قاعدة | | ماسكات شكل حزام | |
| مشبك مع دبوس | | ماسك جانبي |  |

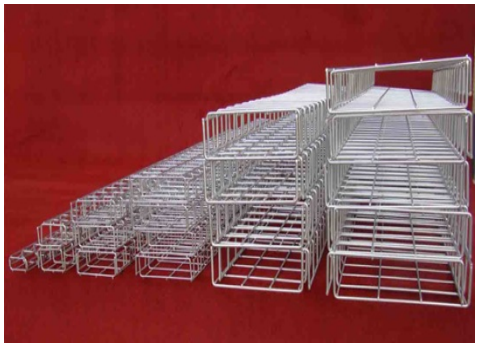
**قنوات التمديدات: (Trunking Installations)**

تستخدم القنوات لتمديد الأسلاك والكوابل، وتعمل على حماية التّمديدات من الإجهادات الميكانيكية والحرارة، شكلها مربع أو صندوقي ولها غطاء طولي يمكن نزعة بسهولة، ويوجد لها العديد من قطع التّوصيل، وتمتاز القنوات بأنها قابلة للتشكل تبعاً للوسط الموجودة فيه، ويوجد منها أحجام مختلفة تبعاً للشركة المصنعة، وتصنع من البلاستيك PVC أو من الصّلب المجلفن أو الألمنيوم.

يعتمد اختيار مقاسات القنوات المناسبة للتركيبات الكهربائية على عدد الأسلاك والكوابل الكهربائية التي ستمر بهذه القنوات ومساحة مقطعها، مع مراعاة ألا يزيد عدد الموصلات الكهربائية الممددة داخل القناة عن 45% من حجم القناة طبقاً للمعايير والمواصفات الهندسية، وهو ما يعرف بمعامل الفراغ (SpaceFactor).

**مجاري التمديدات المعدنية:**

تستخدم مجاري التمديدات لحمل الكابلات في المنشئات الصناعية والعامة، وتثبت على الجدران والأسقف بواسطة دعائم خاصة أو يمكن تثبيتها على السطح، كما في الأنظمة الشّمسية. وتتسم بالبساطة، وقلة التكلفة، وخفة الوزن، وقدرتها على التشكل مع التصاميم المعمارية الصعبة، وتصنع من الألمنيوم، أو الحديد المجلفن لمقاومة العوامل الجوية والصدأ. كما تبدي مرونة عالية لتمديد الكوابل الكهربائية من حيث إضافة أو استبدال الكابلات، وتتواجد مجاري الكابلات الكهربائية بأحجام وأشكال مختلفة تبعاً للشركة المصنعة.

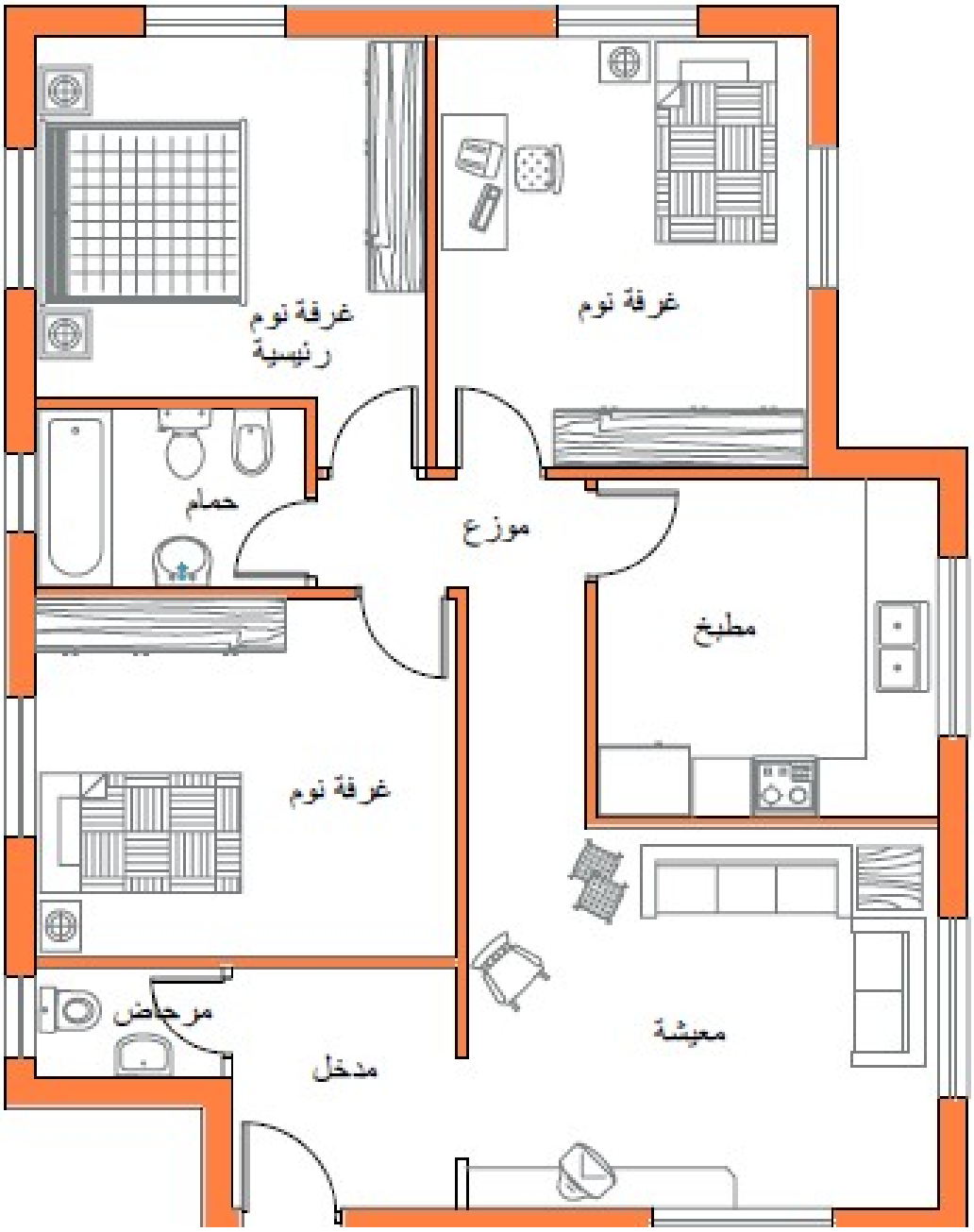


| **أسئلة الدرس:** | |
|---|---|
| 1- | اذكر 3 من شروط تمديد القنوات البلاستيكية المرنة. |
| 2- | ما ميزات القنوات بلاستيكية حلزونية؟ |
| 3- | قم ببناء جدول يوضح معايير إرتفاعات العلب الكهربائية. |

تعدّ المخططات الكهربائية الدليل المرجعي لمنفذي التمديدات الكهربائية، حيث يجب تطبيقها بحذافيرها في موقع التنفيذ، ومن أجل قراءة المخططات بشكل صحيح لا بد من الاطلاع على جدول الرموز المستخدمة المرفق مع المخططات، كما في الشكل الآتي:

| | | |
|---|---|---|
| On/Off One Way Switch | مفتاح مفرد | |
| Two Circuit Switch | مفتاح مزدوج | |
| Two Way Switch | مفتاح درج | |
| Cross Switch | مفتاح صليب | |
| Double Pole Switch With Indicator Lamp | مفتاح قطع ثنائي القطبية مع لمبة اشارة | |
| Push Button | ضاغط | |
| Cieling Lighting Point | نقطة انارة سقفية | |
| Cieling Lighting Point Water proof | نقطة انارة سقفية ضد الماء | |
| Side Lamp | نقطة انارة جانبية | |
| Pendant Lighting Point | نقطة انارة سقفية-ثريا | |
| Power socket–single phase | مخرج كهرباء 16 امبير | |
| Power Socket–Water Proof | مخرج كهرباء 16 امبير ضد الماء | |
| Telephone Outlet | مخرج تلفون | |
| Television Outlet | مخرج تلفزيون | |
| Satelite Outlet | مخرج ستلايت | |
| Intercom Outlet | مخرج انتركم | |
| Main Distribution Board + L.V. | لوحة كهرباء رئيسية مع جهد منخفض | |
| Sub Distribution Board | لوحة كهرباء فرعية | |
| Low Voltage Box | علبة الجهد المنخفض | |
| Earth Leakage C.B. | قاطع تسريب ارضي | E.L.R |
| C.B 10,16,20,25A | مفتاح نصف اتوماتيك | |
| 1x36 watt Flourecent | لامبة فلورسنت1*36واط | |
| 2x36 watt Flourecent | لامبة فلورسنت2*36واط | |
| 2x36 watt with Reflector | لامبة فلورسنت2*36واط مع عاكس | |
| 2x36 watt Flourecent (w.p.) | لامبة فلورسنت2*36واط ضد الماء | |

بعد إعداد المخطط المعماري ومخطط الأثاث للمنزل، كما في الشكل الآتي، يقوم المهندسون المختصون بتجهيز المخططات الكهربائية اعتماداً على مواقع الأثاث والأدوات المنزلية.

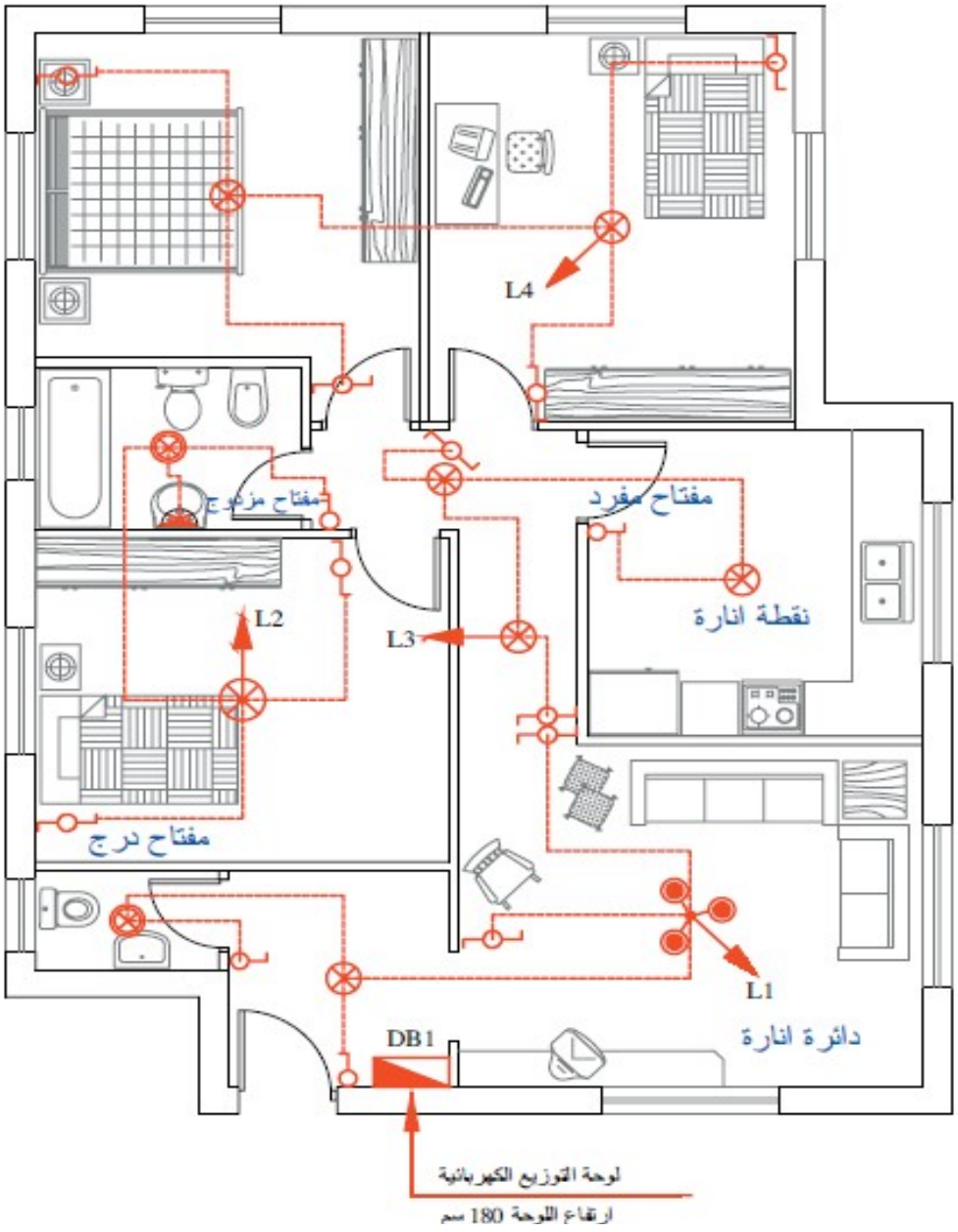


## أنواع المخططات الكهربائية:

### أولاً: مخطط الإنارة:

يجب إعداد مخططات الإنارة لكل طابق على لوحات منفصلة وبمقياس رسم مناسب، حيث يظهر عليها:

1. مواقع وترتيب وحدات الإنارة المختلفة، وترتيبها.
2. مواقع المفاتيح والإنارات التي تتحكم بها.
3. تحديد عدد دارات الإنارة (L1,L2,...) والوحدات التي تتحكم بها.



**مواقع ودوائر وحدات الإنارة:**

يعتمد تحديد عدد وحدات الإنارة وكيفية إضاءتها في المنشئات المختلفة بناءً على شدة الإضاءة المطلوبة في كل غرفة بناء على طبيعة الاستخدام، حيث توجد قيم معيارية عالمية لشدة الإضاءة لكلّ استخدام، فمثلاً توجد قيم محددة لغرف العمليات، والمكتبات، وقاعات الرسم وغيرها، يتم الوصول إلى هذه القيم باستخدام وحدات إنارة مختلفة مع الأخذ بالاعتبار الظروف داخل المنطقة المراد إضاءتها، مثل مساحتها، ولون الجدران ... .

أما بالنسبة لدوائر التغذية الخاصة بوحدات الإنارة، وبما أن قدرة وحدات الإنارة تكون قليلة بالإجمال، والتي قد لا تزيد عن (100واط ) لكلّ وحدة إنارة، فإنه يمكن استعمال أكثر من(20) وحدة إنارة في كل دائرة إنارة منفصلة مع قاطع الـ (10 أمبير)، وذلك اعتماداً على قانون القدرة الكهربائية كما يلي:

$$\text{Power} = I \times V$$

| | |
|---|---|
| سؤال: | كم وحدة إنارة بقدرة (40 Watt) يمكن توصيلها مع قاطع سعته الأمبيرية 10 أمبير، ويعمل على جهد الشبكة الكهربائية (220 Volt). |

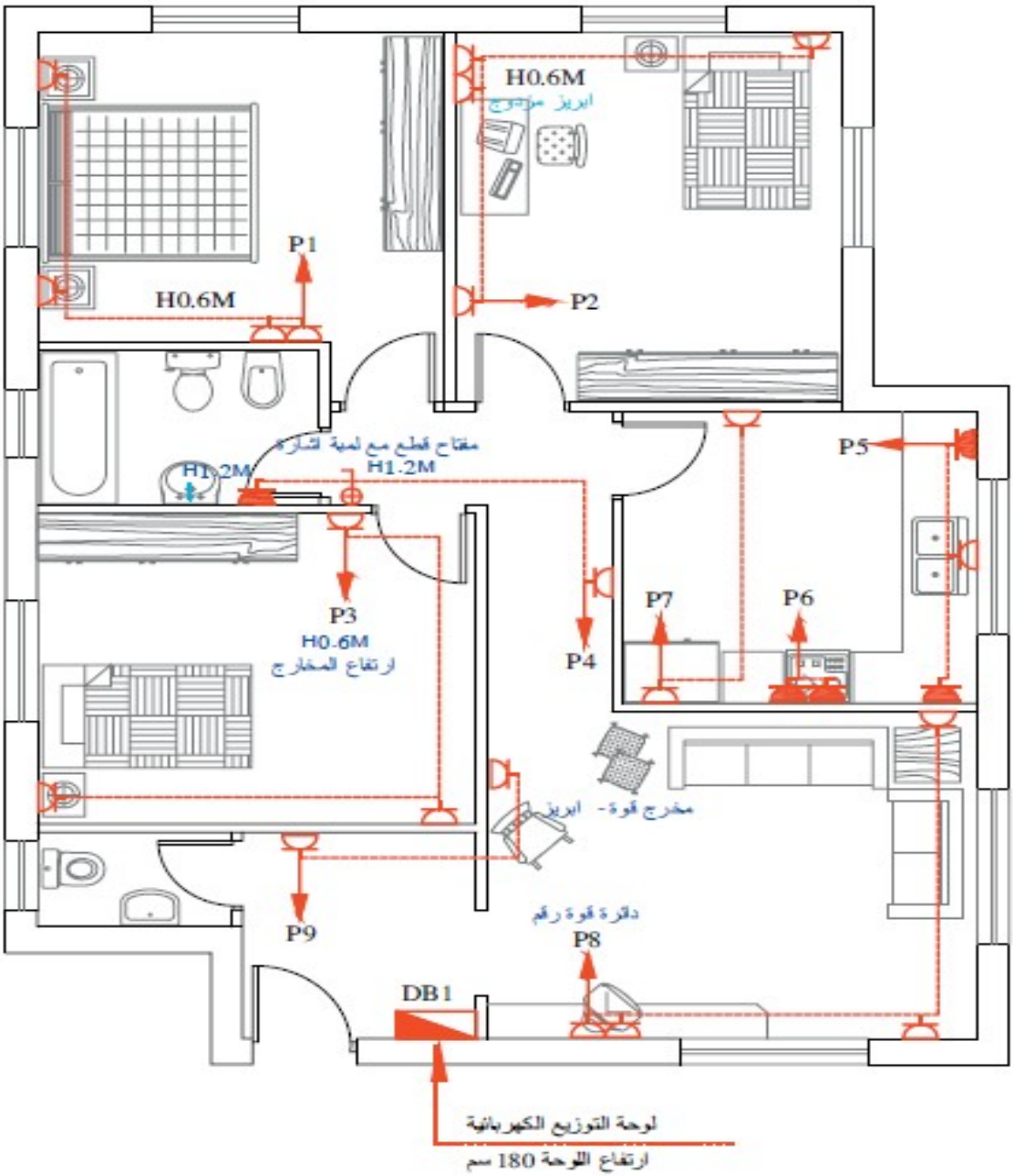
ولكن بصورة عامة، من الأفضل ألا يزيد عدد وحدات الإنارة في كلّ دائرة عن (8) وحدات، مع الأخذ بالاعتبار التوزيع حسب المناطق. هذا يعنى أنه لا يستحسن أن تكون وحدة إنارة في الغرفة نفسها تابعة لدائرة معينة ووحدة إنارة ثانية في الغرفة نفسها تابعة لدائرة أخرى، ويستحسن أن تكون الدائرة لمنطقة معينة، حيث يسهل التعرف إليها، كأن تكون مثلاً غرفة نوم رئيسية دائرة وغرف النوم الأخرى دائرة أخرى، الصالون مع المعيشة دائرة . والمطبخ مع المناطق المجاورة دائرة، والإنارة الخارجية دائرة. أما بالنسبة للمباني العامة، فقد يكون هناك ضرورة لتوزيع المنطقة نفسها على أكثر من دائرة (كقاعة مكتبية مثلاً أو غير ذلك).

**ثانياً: مخطط القوى (الأباريز) :**

يوضّح الشكل التالي مخطط الأباريز للشقة السكنية نفسها موزع فيها كل العناصر وطريقة تقسيم الدوائر الفرعية. ويجب إعداد مخططات القوى لكلّ طابق على لوحات منفصلة، وبمقياس رسم مناسب يظهر:

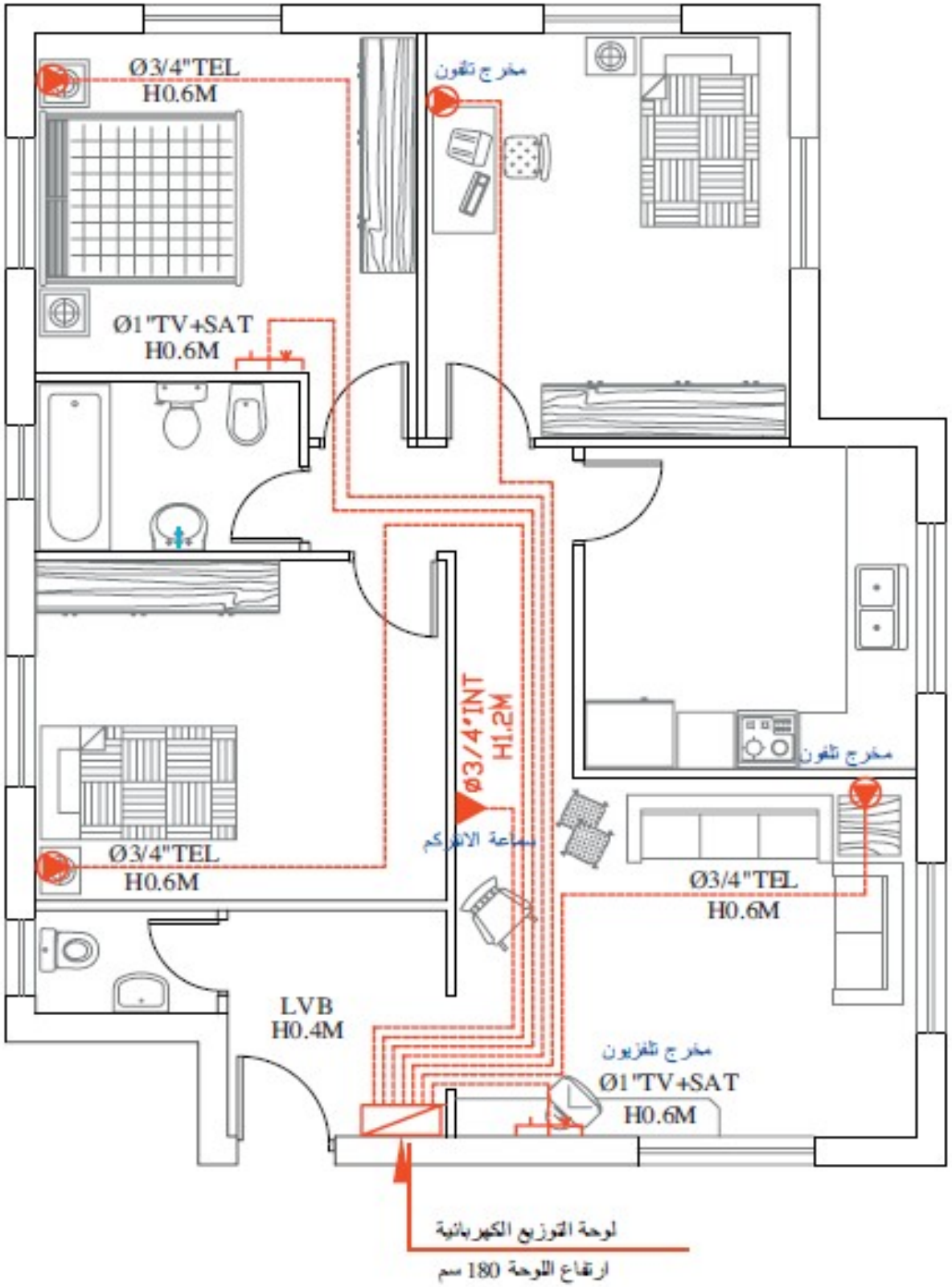
1. مواقع مآخذ القوى وطرق ربطها وتبيان فيما إذا كانت عازلة للماء أم لا.
2. مواقع نقاط القوى ذات التّيار المرتفع، مثل المراوح، وسخانات الماء، والمكيفات.
3. مواقع اللوحات الرئيسية والفرعية، وأرقامها أو أسمائها، وارتفاعها عن سطح الأرض.
4. عدد وأرقام الدوائر الفرعية الخاصة، والقواطع التي يتم التحكم بها.

ويتم اعتماد عدد الأباريز ومواقعها اعتماداً على مخططات الأثاث والأدوات المنزلية، ويمكن أيضاً في بعض المنشآت والمصانع والمختبرات الرجوع إلى مزودي الأجهزة لمعرفة المواقع والارتفاعات التي تلزمهم.




## ثالثاً: مخطط الجهد المنخفض (low voltage):

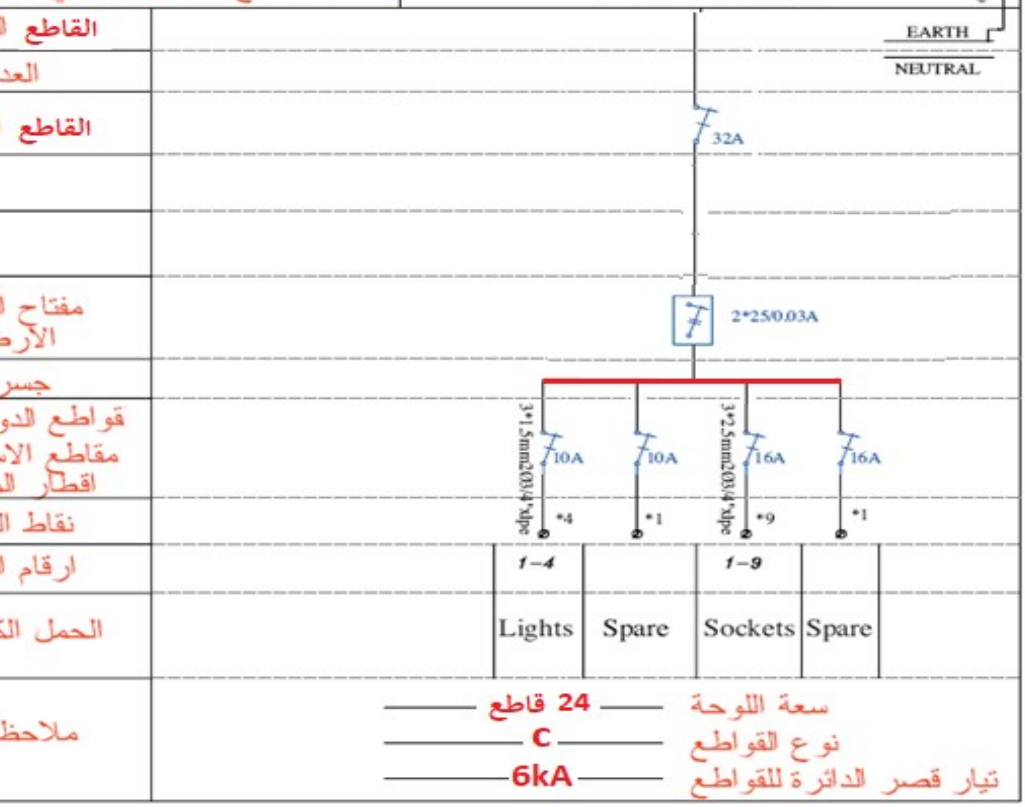
يوضّح الشكل الآتي مخططاً للجهد المنخفض موزعاً فيه كافة عناصر الجهد المنخفض(تلفون/ تلفاز/ ساتلايت/انتركم). ويوضّح طريقة توزيع مخارج التلفاز والهاتف وما يلزمها من مواسير، ويتم تمديد المواسير البلاستيكية المتعلقة بدوائر الجهد المنخفض (في الغالب) تحت البلاط، ويجب أن تكون منفصلة تماماً عن مواسير الأباريز.




ويمكن أن تشمل هذه المخططات على حدات كاشفات السرقة والحريق، ويوجد علبة تجميع لدوائر الجهد المنخفض للهاتف والتلفاز ويكون ارتفاعها (40 سم) عن سطح البلاط، وهي مستقلة عن لوحة الإنارة والأباريز.

## رابعاً: مخطط توصيل لوحة التوزيع الكهربائية المنزلية:

| | |
|---|---|
| اسم اللوحة ورقمها | D.B.1 |
| مصدر التغذية | MDB |
| مساحة مقطع الكابل الرئيسي وقطر الماسورة | 3*6MM2 Ø1"XLPE |




## خامساً: مخطط تصاعدي للأنظمة الكهربائية المختلفة:

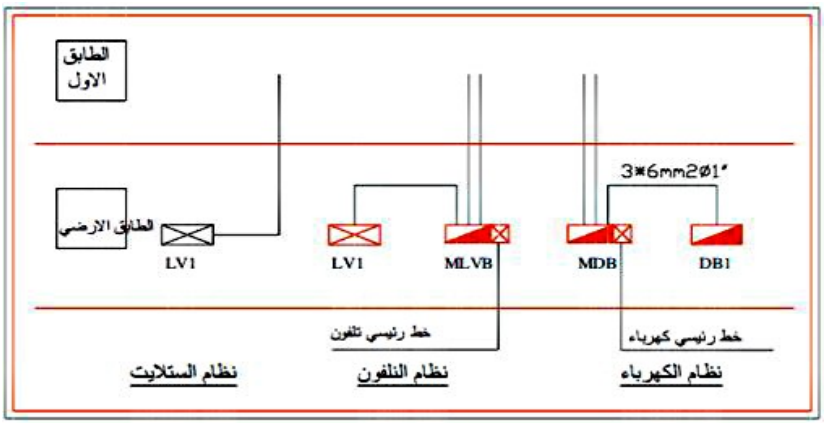
يظهر في المخطط التصاعدي للأنظمة الكهربائية ما يأتي:

1- الطوابق والمواقع المختلفة في المبنى بشكل تمثيليّ تصاعدي.

2- مواقع اللوحات الكهربائية والجهد المنخفض الرئيسية والفرعية.

3- المواسير والكوابل التي تربط أنواع التمديدات جميعها مبيّناً عليها عددها وقياساتها.

ويبين الشّكل التالي مخططاً تصاعديّاً للأنظمة الكهربائية لبناية متعددة الطوابق.

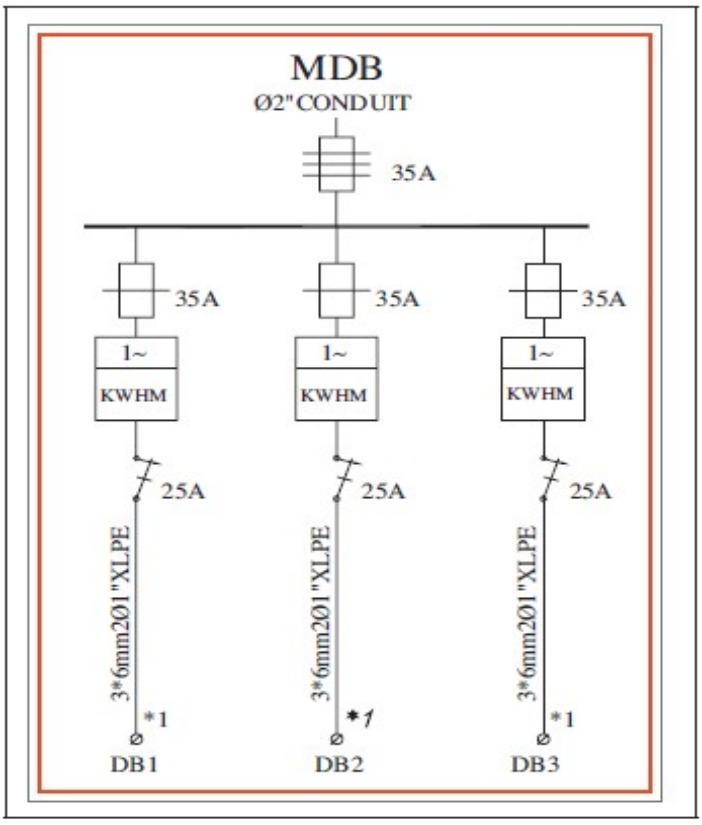


**سادساً: مخطط تفصيل اللوحات الكهربائية الرئيسة والفرعية:**

يظهر في مخطط تفصيل اللوحات الكهربائية الرئيسة والفرعية ما يأتي:

1- القواطع الآلية والفيوزات المستخدمة ومواصفاتها وأنواعها.
2- الكوابل ومواصفاتها، إضافة للمواسير المستخدمة، ومقاساتها، واتجاهها للدوائر الفرعية والرئيسية.
3- العدادات الكهربائية.

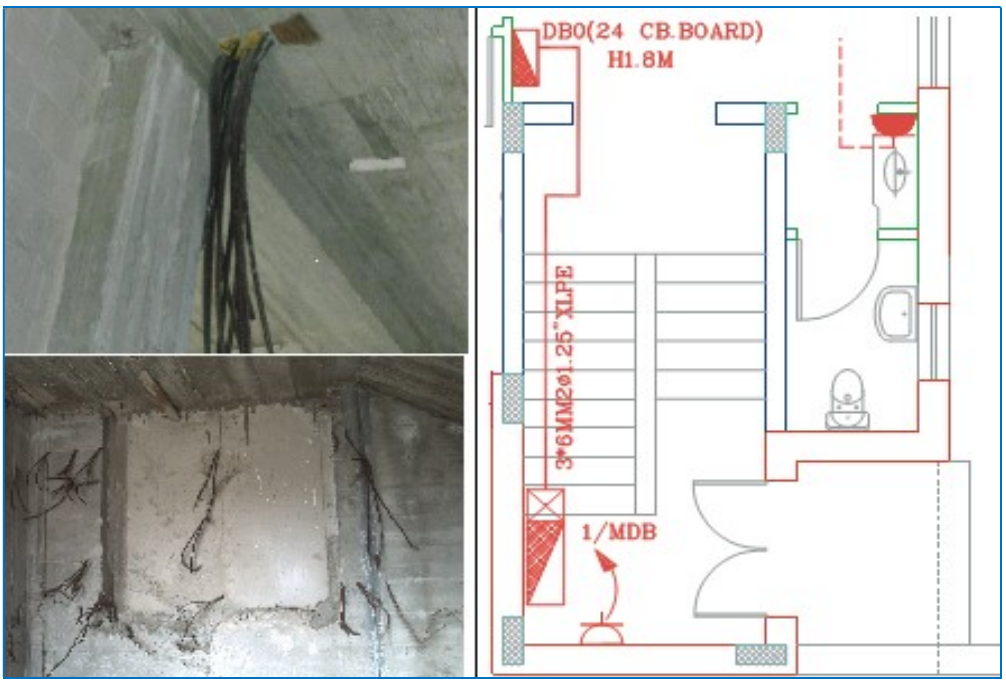
ويبيّن الشكل التالي مخططاً تفصيلياً اللوحات الكهربائية الرئيسية (Main Distribution Board– MDB) – لوحة العدادات.




**تحديد مكان تركيب لوحة التوزيع الكهربائية داخل المنزل حسب المخطط المرفق:**

- **تعيين موقع اللوحات الكهربائية الرئيسة MDB :**

يجب أن يكون موقع اللوحة الرئيسية قريباً من نقطة الربط الخاصة من شركة الكهرباء وبجانب المدخل، ويتم تحديد هذا الموقع بالتنسيق مع مزود الخدمة الكهربائية. يراعى في اختيار الموقع أن تكون لوحة التوزيع الرئيسية في مكان متوسط للوحات الفرعية، وقريبة أكثر ما يمكن من مناطق تركيز الأحمال.

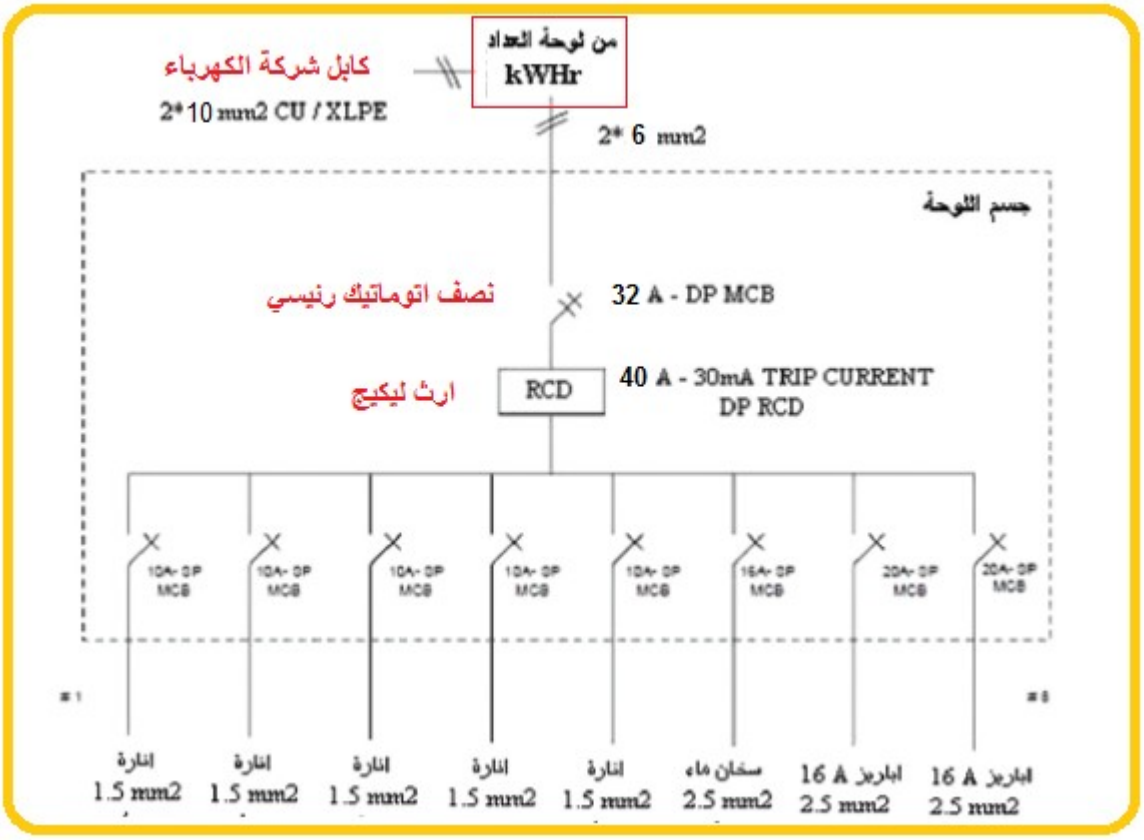


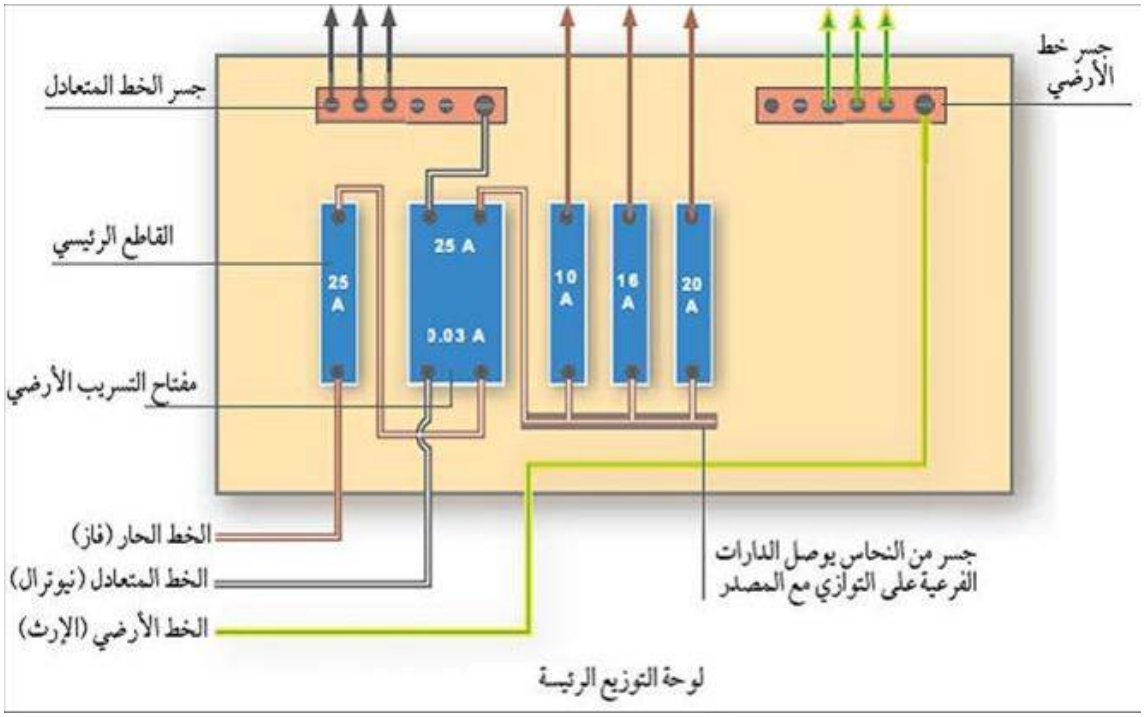

- **تعيين موقع اللوحة الكهربائية الفرعيةDB:**

يجب أن تكون اللوحة في موقع متوسط للأحمال الكهربائية، وحيث لا يزيد كثيراً طول الدائرة – وهي الخط الكهربائيّ الموصل من اللوحة لغاية النقطة الأولى في الدائرة – عن 15 متراً. وفي حالة البيوت السكنية يفضل أن تكون اللوحة الفرعية قريبة من المخرج لقطع التّيار الكهربائي في حالة تعرض البيت لأيّ خطر، ومن الأفضل وقوعها قريبة من المطبخ لتركيز الأعمال الكهربائية فيه. هذا ويتم تركيب اللوحة داخل حائط باطون أو في حائطين ملتصقين من الطوب ( Double wall) أو في جدران الباطون، مما يسهل إدخال المواسير إليها. ويجب مراعاة ما يلي في موقعها:

1- اختيار المكان المناسب حتى يسهل تغذيتها من اللوحة الرئيسية MDB (لوحة العداد) والتي توضع عادة في سلالم الخدمات.
2- **سعة اللوحة الفرعية:** حيث يجب معرفة العدد التقريبي للقواطع الآلية التي يمكن أن تتواجد فيها، إضافة لقاطع التسرب الأرضي(RCD)، ويجب أن تحتوي على مكان لقواطع آلية احتياطية(Spare) لفتح الإمكانية لأية اضافات مستقبلية. ويبيّن الشكل الآتي مخططاً داخليّا للوحة فرعية وطريقة توصيلها مع لوحة العداد.

كيفية تجميع لوحة توزيع كهربائية صغيرة لمنزل

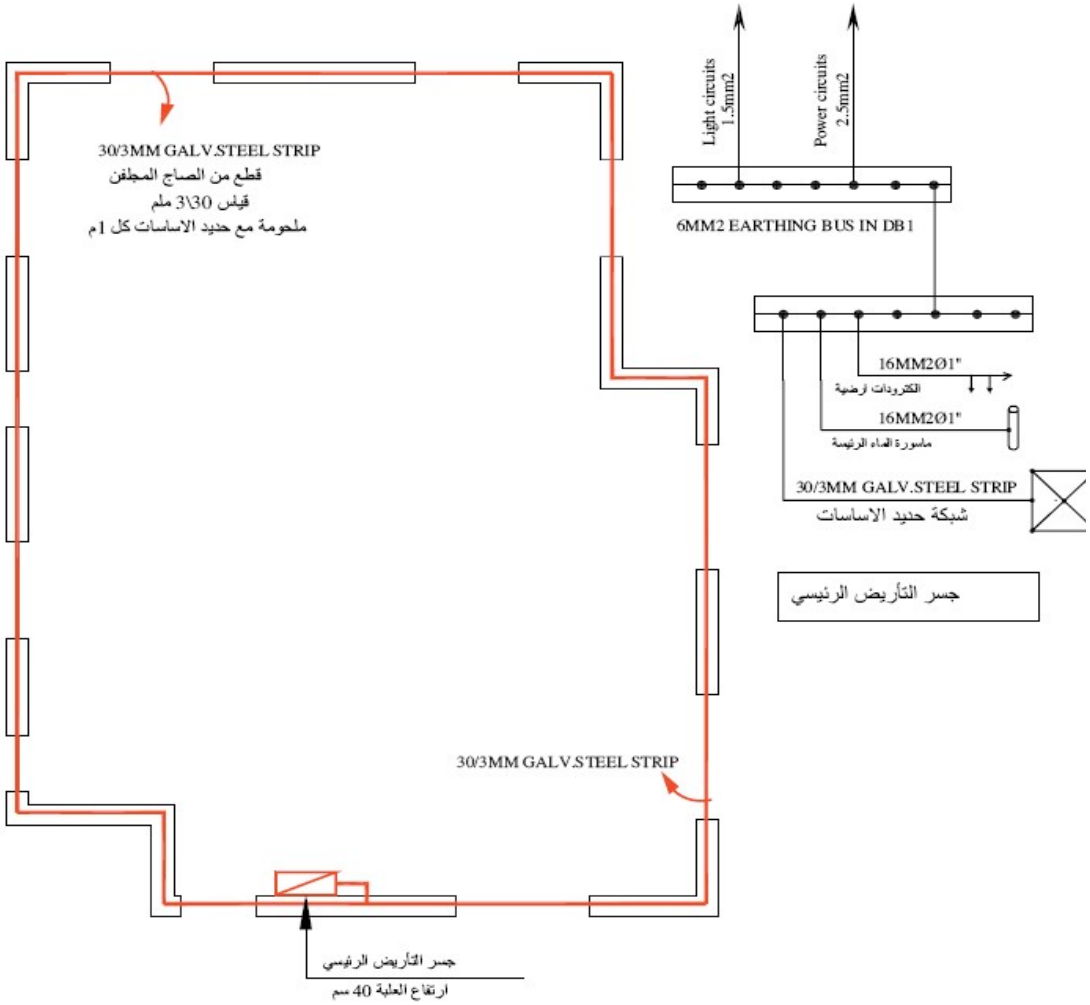


## سابعاً: مخطط تأريض المنزل:

يظهر في مخطط التأريض ما يأتي:

1- توضيح طريقة لحام حديد الجسور الأرضية وحديد القواعد.
2- توضيح مسار ومقاس حديد التأريض، وربطه مع جسر التأريض الرئيسي.
3- مواقع الإلكترودات الأرضية، ومقاساتها، وطريقة ربطها مع جسر التأريض الرئيسي.
4- مخطط هيكلي أحادي الخط لجسر التأريض الرئيسي موضّحاً عليه دارات التأريض كافة.




| أسئلة الدرس: | |
|---|---|
| 1- | ما معايير اختيار مكان خزانة التوزيع الرئيسية؟ |
| 2- | ما الذي يبينه المخطط التّصاعدي للأنظمة الكهربائية المختلفة؟ |

| 4 | الدرس الرابع | لوحات التّوزيع الكهربائية وحارفات الصواعق |
|---|---|---|

تعدّ اللوحات الكهربائية أهم عناصر المنظومة الكهربائية، فاللوحة تمثّل نقطة تمركز وتوجيه وتنظيم ومتابعة للطاقة الكهربائية حسب مواصفاتها وللتحكم بوصل وفصل التّيار الكهربائيّ يدوياً أو آليا للدارات الكهربائية المتصلة بها سواء عند إجراء الصيانة لها، أو عند حدوث عطل لإحدى الدارات الكهربائية المتصلة معها.

## أنواع لوحات التّوزيع الكهربائية من حيث الاستخدام

**(1)لوحات توزيع رئيسية: ( Main Distribution Boards)**

وهي اللوحة الرئيسية في المبنى، والتي تتصل عادة مع مصدر التغذية الرئيسي لشركة الكهرباء عبر لوحة العدادات، وتقوم بدورها بتوزيعه إلى باقي أقسام المبنى من خلال لوحة توزيع فرعية أو أكثر.

**(2)لوحات توزيع فرعية: ( Secondary Distribution Board)**

تتصل هذه اللوحة باللوحة الرئيسية عبر كابل فرعي من جهة، وقد تتصل من الجهة المقابلة مع أحمال كهربائية مباشرة في المبنى أو قد تغذي لوحة توزيع أو أكثر تسمّى لوحة توزيع نهائية.

**(3)لوحات نهائية: ( Final Distribution Board)**

تعتبر هذه اللوحة هي النقطة النهائية التي تتحكم بتشغيل الأحمال الكهربائية داخل المبنى.

يجب مراعاة ما يلي عند اختيار لوحة التوزيع:

1. معرفة طبيعة المكان الذي ستثبت به اللوحة لمعرفة فيما إذا كانت هذه اللوحة ستثبت مخفية داخل الجدار أم ظاهرة، وكذلك إذا كانت ستثبت داخل المبنى أو خارجه.
2. التّيار الكهربائي لكلّ حمل من الأحمال الكهربائية التي ستغذيها اللوحة، وذلك لتحديد سعة القواطع الكهربائية الفرعية، وكذلك التّيار الكهربائيّ الكلي لهذه الأحمال لتحديد سعة القاطع الرئيسي للوحة.
3. طبيعة الأحمال الكهربائية، وذلك لتحديد نوع القواطع، ونوع الحماية اللازمة لهذه الأحمال.
4. عدد الأحمال ذات الطور الواحد والأحمال ذات الثلاثة أطوار لتحديد عدد القواطع اللازمة لتغذية الأحمال وبالتالي سعة اللوحة.

## المواصفات الفنية للوحات الكهربائية:

عند تصميم اللوحات الكهربائية سواء كانت رئيسة أو فرعية، لا بد من مراعاة الأمور الآتية:

1. عدد المفاتيح الرئيسية والفرعية، وسعتها للتّيار الكهربائيّ.
2. طريقة الربط الكهربائيّ بين المفاتيح مع بعضها عن طريق قضبان التوزيع العمومية النحاسية ( Bus bar) ودوائر التحكم الخاصة بهذه المفاتيح .
3. التّيار الكليّ للأحمال.
4. الحمايات اللازمة في اللوحة.
5. أجهزة القياس اللازمة.
6. عدد المداخل والمخارج للوحة.
7. المواصفات القياسية للوحات من حيث مساحة اللوحة المناسبة، اعتماداً على عدد المفاتيح وأجهزة الحماية وقضبان التوزيع، مع الأخذ بالاعتبار ترك مساحات كافية لسهولة تمديد الكوابل داخل اللوحة.

## درجة عزل اللوحات (IP)

(IP): مقياس لدرجة الحماية للوحات أو المعدات الكهربائية من عوامل الجو المختلفة، مثل الأتربة والماء. وهو عبارة عن رمز مكون من رقمين (XY)، حيث يشير الرقم الأول X إلى درجة الحماية ضد الأتربة، ويتراوح بين 1- 6، ويشير الرقم الثاني Y إلى درجة الحماية ضد السوائل أو المياه، ويتراوح ما بين 1- 7, وكلما ارتفعت X و Y دل ذلك على مناعة اللوحة ضد الأتربة والسوائل حتى نصل إلى IP67 فهذا يعني أن اللوحة مؤمنة تماماً ضد الأتربة والمياه. وبالطبع يرتفع سعر اللوحة تبعاً لذلك، وتتدرج درجات الحماية كما في الجدول.

تصنيفات درجة الحماية IP للوحات الكهربائية

| IP | X ( الوقاية ضد الأتربة ) | Y ( الوقاية ضد المياه ) |
|---|---|---|
| 0 | لا يوجد حماية | لا يوجد حماية |
| 1 | حماية ضد الأجسام التي لها قطر أكبر من 50 مم | حماية ضد قطرات المياه الساقطة |
| 2 | حماية ضد الأجسام التي لها قطر أكبر من 12.5مم | حماية ضد قطرات المياه الساقطة دون قوة |
| 3 | حماية ضد الأجسام التي لها قطر أكبر من 2.5 مم | حماية ضد الأمطار |
| 4 | حماية ضد الأجسام التي لها قطر أكبر من 1 مم | حماية ضد المياه المقذوفة من أي زاوية |
| 5 | حماية ضد جزيئات الغبار | حماية ضد المياه المندفعة بقوة |
| 6 | حماية مطلقة ضد الأتربة | حماية ضد المياه المقذوفة من مضخات قوية |
| 7 | | حماية ضد الغمر في المياه |

تستخدم اللوحات المصنوعة من البلاستيك وللأغراض المنزلية فقط حسب اللوحات في الأسفل، وهي عبارة عن صندوق مصنوع من مواد بلاستيكية أو حديدية يحتوي على القواطع والموصلات، ويوجد منها أنواع عديدة بمواصفات ومقاييس عالمية حسب الحمل المراد تغذيته: (اللوحات البلاستيكية المنزلية فقط).

1- لوحات توزيع سعة 12 قاطعاً مع موصلاتها.
2- لوحات توزيع سعة 24 قاطعاً مع موصلاتها.
3- لوحات توزيع سعة 36 قاطعاً مع موصلاتها.
4- لوحات توزيع سعة 48 قاطعاً مع موصلاتها.

قد تركب اللوحة في داخل حيز خاص في الطابق أو في بعض الحالات في الممرات (أو المداخل الرئيسة)، ولكن يجب ألا تكون ظاهرة عن مستوى القصارة.

## حارفات الصواعق ( Lightning Arresters).

إن الغرض الأساسيّ من مانعة الصواعق هو تفريغ شحنة الصواعق بالأرض لحماية الأجهزة والمعدات والمنشئات وخطوط نقل الطّاقة الكهربائية. وبالتالي لا بد من توفير مسار جيد لتفريغ الصاعقة خلال مقاومة صغيرة إلى الأرض.

**مكوّنات نظام الحماية من الصّواعق من الآتي:**

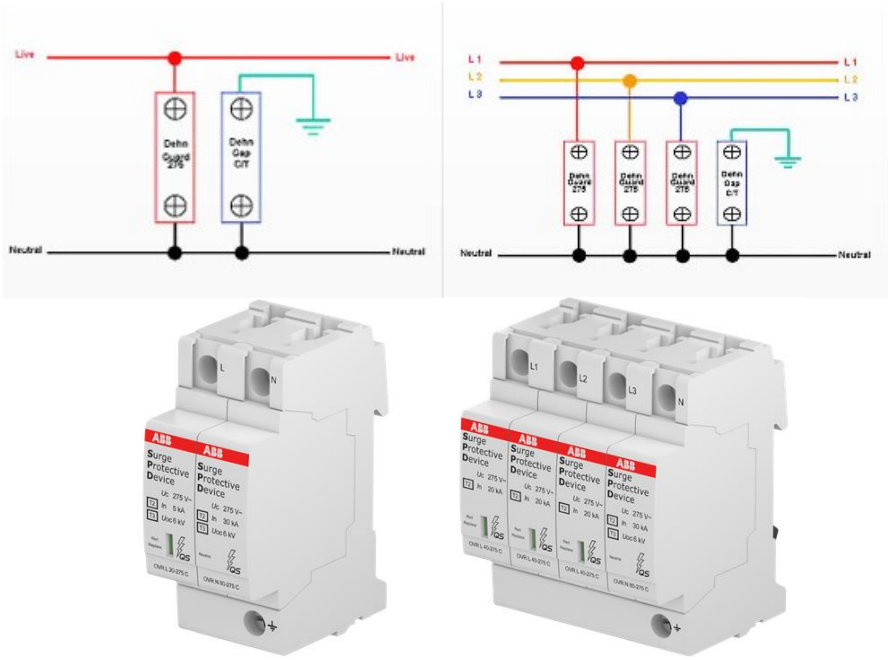
1- طرف هوائي لاقط
2- موصل هابط لربط القضيب الهوائي اللاقط بشبكة التأريض الخاصة.
3- نظام الشبكة الأرضية الخاصة بمانعة الصواعق.
4- صائد البرق ويعمل على تأمين عنصرين رئيسين، هما:
   - إخماد الجهد(تقليله) لقيمة مأمونة.
   - تفريغ الشحنات بسرعة كبيرة جداً لمنع انهيار العوازل.

وذلك من خلال توفير مسار ذي مقاومة صغيرة للشّبكة الأرضيّة( أقل من 5 أوم) بالنسبة للأرض.

### أجهزة الحماية من جهد الصّواعق العالي (Arrestor) Surge protective devices:

تحدث الموجات العابرة للجهد (Surges) نتيجة لأسباب خارجية، مثل الصّواعق الكهربائية (البرق)، وقد تؤدي هذه الموجات العابرة إلى تلف الأجهزة الحساسة لارتفاع الجهد خاصة الأجهزة الإلكترونية، مثل الأجهزة الطبية، وأجهزة التلفاز والحاسوب، لذلك يتم استخدام محددات الموجات العابرة لحماية تلك الأجهزة الحسّاسة.

يقوم عنصر الحماية – مقاومة معتمدة على الجهد–(Metal Oxide Visitor– MOV )– عن طريق تفريغ الجهود العابرة والعالية بحماية الأجهزة داخلياً قبل وصولها إلى الأجهزة الإلكترونية الحساسة. وقد يستخدم الجهاز لحماية أحمال كهربائية عديدة، حيث يوضع قبل لوحة التوزيع، وهذا النوع مصنع ليتحمل جهود عابرة تصل إلى 6KV، تيارات عابرة تصل قيمتها إلى 640KA لكل فاز أو يستخدم لحماية حمل واحد فقط، وفي هذه الحالة يوضع قبل الحمل مباشرة أو داخل لوحة التوزيع.




| أسئلة الدرس: | |
|---|---|
| 1- | ما مبدأ عمل جهاز الحماية من الصّواعق والجهود العالية؟ |
| 2- | ما السعات المقننة لخزانات التوزيع النهائية؟ |
| 3- | ما الأمور التي يجب مراعاتها عند تصميم اللوحات الكهربائية سواء كانت رئيسة أو فرعية. |

| 5 | الدرس الخامس | فحوصات التّمديدات الكهربائيّة |
|---|---|---|

تستخدم أجهزة القياس في فحص العناصر الكهربائية والإلكترونية للتأكد من صلاحيتها، ولتحديد الأعطال في الدوائر الكهربائية والتمديدات الصناعية، كما تستخدم لقياس القيم الكهربائية بأنواعها المختلفة من فولطية، وتيار، ومقاومة، وقدرة، وتردد وغيرها .

ويوجد في الوقت الحاضر عدد كبير من الكميات المقيسة، يقابلها عدد كبير من الأجهزة المختلفة التي تتباين من حيث الدقة في القراءة، وسهولة الاستخدام والتشغيل، وتعدد الاستعمالات. ويجب على مستخدم جهاز القياس أن يكون ملماً بخصائصه، وكيفية تشغيله واستخدامه، والظروف المثالية لعمله، كذلك عليه اختيار الجهاز الأنسب للقياس المطلوب.

تشمل الاختبارات الكهربائية ما قبل الترخيص ما يلي:

1. اختبارات العزل لجميع موصلات الكابلات والتمديدات للتركيبات الثابتة، وتتم ما بين الأطوار فيما بينها وما بين الأطوار والأرض.
2. اختبارات الاستمرارية والموصلية للموصلات الوقائية والمتساوية الجهد والربط الأرضي.
3. اختبارات مقاومة أقطاب التأريض بالنسبة للتأريض المستمر باستخدام الإلكترودات المنفصلة.
4. التحقق من عدد المقابس( الأباريز)المسموح به لكل دائرة، والتحقق من مساحة مقطع الموصلات جميعها وملاءمتها للسيطرة على مستويات دائرة القصر مع الأخذ بالاعتبار الأجهزة الوقائية المرتبطة، والمواد، وظروف التركيبات لهذه الموصلات(في الهواء، داخل مواسير، مدفونة في الأرض،...).

**أولا: فحص مقاومة العزل:**

بعد الانتهاء من التّركيبات الكهربائية في المباني وقبل التشغيل، يجب قياس مقاومة عزل الأسلاك المستخدمة في التركيبات للتأكد من:

1. عدم إصابة العازل بأية أضرار أثناء عملية تمديد الأسلاك في المجاري الخاصة بها.
2. صحة الوصلات التي استخدمت في ربط الدوائر الفرعية بالدوائر العمومية، ومن صحة تنفيذ نهايات الأسلاك وربطها بالمخارج بمختلف أنواعها.
3. خلو الدائرة من أعطال القصر بين الموصلات المستخدمة في التمديدات الكهربائية.

ولهذا الغرض يستخدم جهاز قياس مقاومة العزل(**المجر**)Megger، حيث يقوم بقياس المقاومة بين موصلي الدارة الكهربائية، ويمكن أن يقيس قيم مقاومة عالية تبلغ ملايين الأومات.

يتطلب قياس العازلية توليد فولتية عالية (قد تصل إلى 2500 فولت أو أكثر)، ويقوم الجهاز بتوليد هذه الفولتية ذاتياً بواسطة **مصدر جهد** داخل الجهاز. وكلما زادت مقاومة العازلية كانت الحاجة إلى توليد فولتية أعلى لتحقيق درجة مقبولة من الدقة في عملية القياس.

**جهد الفحص(DC ) :" 250 أو 500 أو 1000 فولت " ، حيث إن جهد الاختبار المستخدم للتمديدات المنزلية 500 فولت.**

يعمل الجهاز على مبدأ قياس التّيار والجهد وحساب المقاومة عن طريق دوائر الكترونية داخلية( **قانون أوم)** كما في العلاقة الآتية:

**مقاومة العزل بوحدة( M ) = جهد الفحص (الفولت) / تيار التسريب (الميكرو أمبير)**

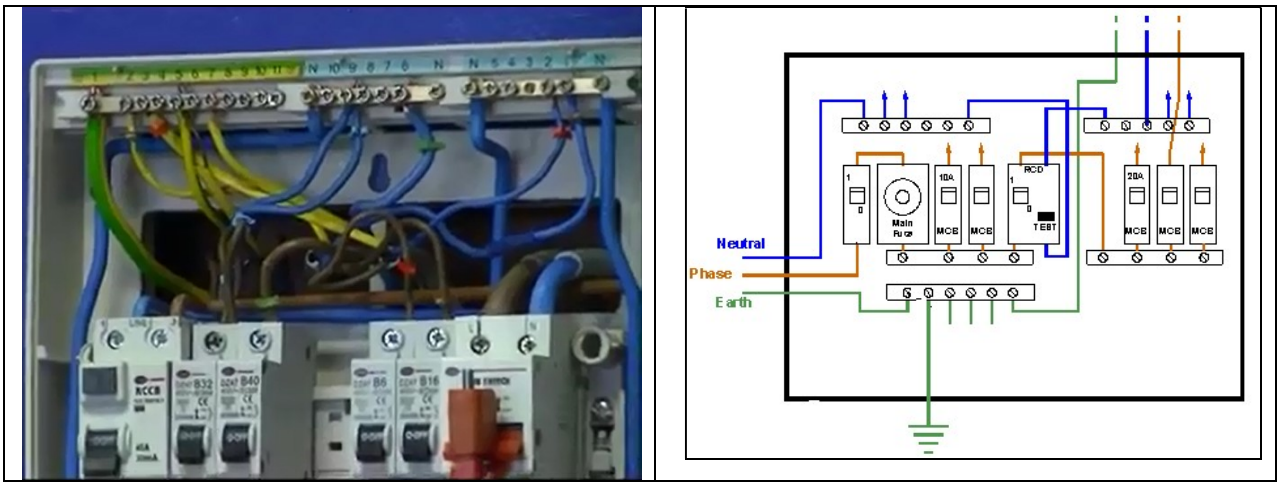
- **إجراءات ما قبل القياس:**

يجب اتخاذ الاحتياطات الآتية عند استخدام جهاز فحص العازلية:

1. فصل مصدر التغذية عن المنشأة المراد عمل الفحص لها.
2. يجب فك اللمبات جميعها.
3. جميع مفاتيح الإنارة يجب أن تكون على وضع التشغيل(ON)، ما أمكن.
4. وضع قاطع التسرب الأرضي(RCD)على وضعية **الإيقاف** منعاً لتلفه أثناء إجراء الفحص.
5. فصل الأجهزة الكهربائية والإلكترونية جميعها، مثل الأجراس وكواشف الدخان والحركة والمؤقتات، إن أمكن أو أن يتم استثناؤها من فحص العزل عن طريق وصل أطراف التغذية لها. حتى لا تتعرض لجهد الاختبار، وحتى تكون المقاومة الوحيدة الموجودة بين خط الفاز L وخط التعادل N وخط الأرضي الوقائي هي مقاومة عزل الأسلاك.

6. فصل خط الفاز عن النيوترال الرئيسي عن اللوحة وذلك لأن خط النيوترال الرئيسي للمصدر موصول مع الأرض
7. عدم لمس أطراف الأسلاك غير المعزولة في أثناء عملية الفحص وذلك بسبب الفولتية العالية المتولدة .

مخطط توصيل لوحة توزيع مع شكل لوحة التجميع 1 فاز




وفي المنشآت الكبيرة ونظراً لطول الأسلاك التي يتم تمديدها فقد تقل قيمة هذه العازلية، ويجب ألا تقل عن (2\1) ميجا أوم، وعند الفحص يتم تقسيم المنشأة الكهربائية إلى مناطق( لوحات)، حيث لا يزيد عدد النقاط (إنارة وأباريز)عن( 50) وتفحص كل لوحة على حدة، ويجب ألا تقل قيمة قراءة فحص العازلية عن 2/1 ميجا أوم، أو حسب الكود المعتمد لدى الجهات المحلية المختصة، والجدول الآتي يبين الحد الأدنى لمقاومة العزل.

| الجهد المقنن للدائرة | جهد الاختبار | أدنى قيمة لمقاومة العزل (ميجا أوم) |
|---|---|---|
| 1000 > Un >500 | Vdc = 1000 | 1 |
| 500>Un>0 | Vdc = 500 | 0.5 |
| 50>Un>0 | Vdc = 250 | 0.25 |

يصعب فصل الأحمال جميعها لتنفيذ هذا الاختبار في حال كان المبنى كبيراً. ولذا يمكن تنفيذ هذا الاختبار مع وجود الأحمال مع القبول بقيمة أقل لقيمة العزل المقيسة.

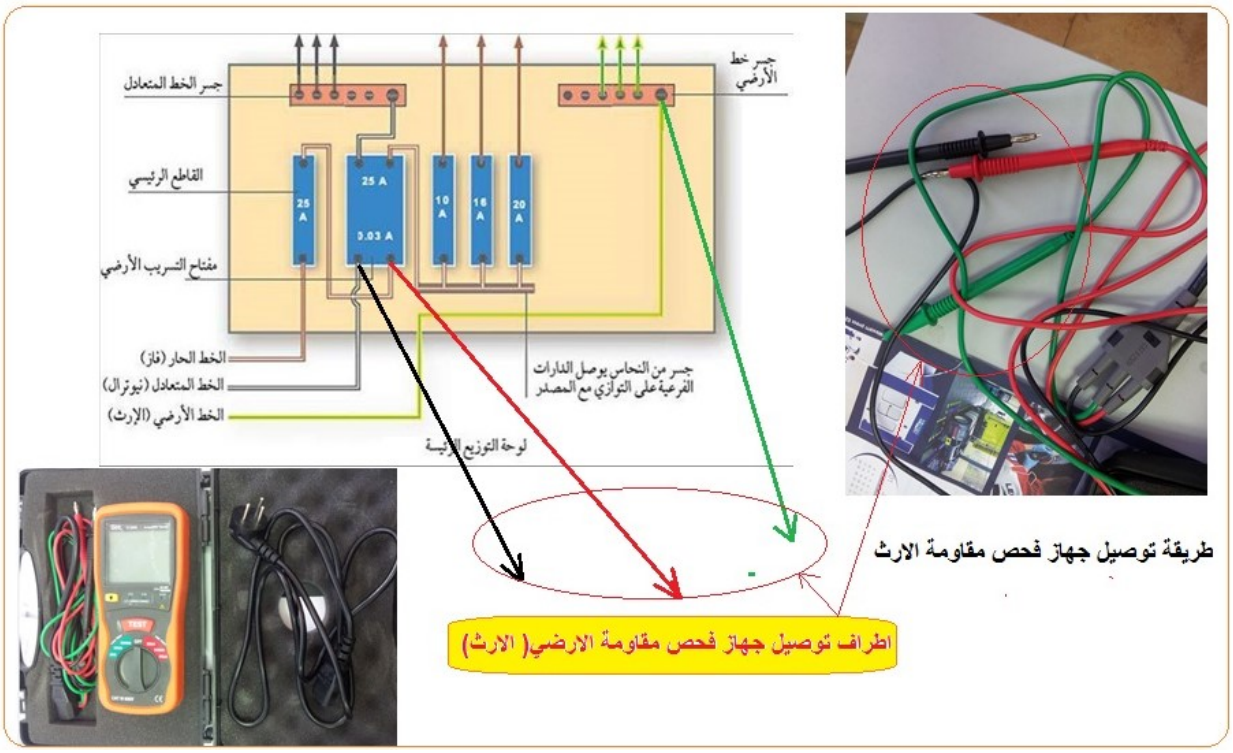
## فحص مقاومة التأريض جهة المستهلك:

يستخدم لهذا الغرض جهاز قياس مقاومة الأرضي، المبين في الشكل التالي، ويتوفر مع الجهاز نوعان من أسلاك القياس، حيث يمكن بالتالي قياس مقاومة الأرضي بطريقتين:

1- **الطريقة الأولى**: تستخدم الكابل الأسود، حيث يمكن توصيلها بطرف أي من الأباريز الداخلية مباشرة وبالتالي(مع توفر الجهد في الإبريز) تشغيل الجهاز والضغط على كبسة الفحص(**TEST**)، وقراءة قيمة مقاومة الأرضي إلا أنه عند استخدام هذه الطريقة فإن جهاز الإرث ليكيج سيفصل، مما يؤدي إلى فصل التّيار الكهربائي كلياً عن المبنى أثناء الفحص وهو الأمر غير المحبذ بهذه الطريقة.

جهاز قياس مقاومة الأرضي(الإرث)

**الطريقة الثانية**: تستخدم الأسلاك المفردة ذات الألوان(الأحمر، الأخضر، والأسود) والمبينة في الشكل أعلاه، ويتم الفحص داخل لوحة التوزيع الرئيسية في المبنى، وهي وبالتالي تمكّن من إجراء الفحص دون فصل التّيار الكهربائي عنه، إذ إنها تتم بتوصيل السلك ذي اللون الأحمر بخطّ الفاز والسلك ذي اللون الأسود بخط النيوترال، والسلك الأخضر يوصل بخطّ الإرث، ومن الضروري أن يتم توصيل الأسلاك قبل قاطع التسرب الأرضي(الإرث ليكيج) وليس بعده (أي قبل دخول التّيار إلى المبنى)، والشكل الآتي يبيّن طريقة توصيل الجهاز لفحص مقاومة الأرضي لمبنى سكنيّ.




| أسئلة الدرس: | |
|---|---|
| 1- | ما المستفاد من فحص عازلية التّركيبات؟ |
| 2- | ما السّعات المقننة لخزانات التوزيع النهائية؟ |

| أسئلة الوحدة: | |
|---|---|
| -1 | اختر رمز الإجابة الصّحيحة لما يلي:<br><br>1-رمز الحماية ضد المياه المقذوفة من مضخات قوية، والحماية المطلقة من الغبار:<br>أ- IP 65 ب- IP 66<br>ج- IP 67 د- IP 37<br><br>2-تثبت علبة الجهد المنخفض على ارتفاع _____ من سطح البلاط:<br>أ- 40 سم. ب-50 سم<br>ج-10 سم د - 150 سم<br><br>3- ما الجهاز المستخدم في قياس العزل في التمديدات الكهربائية؟<br>أ- ملتي ميتر ب-كلامب ميتر<br>ج- المجر د- راسم الإشارة |
| -2 | وضح آلية التأريض باستخدام لحام شبكة حديد الأساسات. |
| -3 | ما مكونات نظام الحماية من الصواعق؟ |
| -4 | ما أنواع لوحات التّوزيع الكهربائيّة من حيث الاستخدام؟ |
| -5 | ما أنواع قنوات تمديد الأسلاك الداخلية؟ |
| -6 | ما العوامل المؤثرة في قيمة مقاومة الإرث فيما يتعلق بوسيلة التأريض؟ |
| -7 | ما هما طريقتا فحص مقاومة التأريض جهة المستهلك؟ |
| -8 | ما العناصر التي تظهر في مخطط الجهد المنخفض؟ |

# الوَحْـــــــدة

# 3

# تكنولوجيا الطّاقة المتجددة

" أينما ركزت، تدفقت الطّاقة وظهرت النتيجة"

## مقدّمة الوَحْدة

يواجه قطاع الطّاقة منذ تبلوره بشكله الحديث مشاكل كثيرة، لعل أهمها التأثيرات السلبية التي يكبدها للمنظومة البيئية على هذا الكوكب، إن هذه المشكلات البيئية تتركز على اعتماد قطاع الطّاقة بشكل شبه كلي على الوقود الأحفوري بأشكاله كافة كمزود رئيسيّ للطّاقة، وهذا الاعتماد يؤدّي بشكل مباشر إلى مشكلة مزدوجة تتمثّل في عدم مقدرة الدول على التخلي عن هذا النوع من المصادر كخيار أول لإنتاج الطّاقة، كما يؤدي بدوره إلى مشكلات بيئية وصلت إلى حد الخطر في بعض النطاقات.

يطرح خبراء كثيرون خيار الطاقات المتجددة كمصدر بديل للوقود الأحفوري، وتتنوع هذه الطاقات ما بين الطّاقة الشمسية، وطاقة الرياح، وطاقة المياه، وأنواع أخرى من الطّاقة. وتمتاز هذه المصادر بديمومتها، وعدم تلويثها للبيئة ومجانية توفرها، هذه الميزات أدّت إلى بروزها كلاعب منافس للوقود الأحفوري في قطاع الطّاقة في العصر الحديث.

تعاني الطاقات البديلة من تحديات صعبة حالياً وفي المستقبل القريب، مثل: التّكلفة المرتفعة لبناء محطات لاستغلالها، عدم نضوج تكنولوجيا توليدها واستخدامها مقارنة بتكنولوجيا استخراج الوقود الأحفوري واستخداماته، تذبذب إنتاجها الذي ينتج في عدم الاعتماد عليها كمزود رئيسيّ للأحمال، إضافة إلى محاربة بعض السياسات ومؤسسات الطّاقة التقليدية لها. يجب على المهتمين جميعهم بقطاع الطّاقة المتجددة من الانتباه إلى هذه المشاكل، لضمان توسع نطاق استخدام هذا النوع من الطّاقة في المستقبل.

### أهداف الوَحْدة:

1- مقارنة الطّاقة المتجددة بالطّاقة التقليدية.
2- دراسة مصادر الطّاقة المتجددة المختلفة.
3- تحليل مضار الطّاقة التّقليدية.
4- تقييم واقع الطّاقة الشّمسية في فلسطين.
5- استنتاج التّحديات التي تواجه قطاع الطّاقة المتجددة.
6- نقد مصادر الطّاقة المتجددة.

| 1 | الدرس الأول: | الطّاقة المتجددة والطّاقة التّقليدية |
|---|---|---|

تعتبر الطّاقة مقوّماً مهماً من مقوّمات الحياة البشرية، فلا يمكن الاستغناء عنها بأي شكل من الأشكال، وخاصة في الوقت الذي نعيش فيه، علماً أن التطورات التكنولوجية الحاصلة أدّت إلى الاعتماد الكلي على الطّاقة ومصادرها، وتوجد من حولنا العديد من أشكال الطّاقة المختلفة التي نتعامل معها في حياتنا اليومية، فالطّاقة الحراريّة مثلاً هي أحد أشكال هذه الطّاقة المعهودة والتي عرفها الإنسان منذ القدم، فتعامل الإنسان مع الطّاقة الحرارية في بداية الأمر من النار، وعرفها من الشمس، كما استغلّ الطّاقة الحرارية في العديد من الأمور منها، كالطبخ.

| نشاط(1): | مستعيناً بالمكتبة أو بشبكة (الإنترنت)، لماذا نشعر بالحر عند ارتداء ملابس ثقيلة؟ ما مصدر وسبب هذه الحرارة؟ |
|---|---|

إن مصدر الطّاقة الأساسي حالياً مستمد من الوقود الأحفوري، مثل الفحم والبترول والغاز الطبيعي، الذي يرتبط بدوره بمشاكل كبيرة منها انخفاض هذا المخزون من الطّاقة والمشاكل البيئية التي يسببها، مما يدفعنا إلى الاهتمام المتزايد بمصادر طاقة بديلة، لسد احتياجاتنا اليومية المتزايدة للطاقة.

**الطّاقة المتجددة:** وهي الطّاقة التي نحصل عليها من خلال تيارات الطّاقة من مصادر طبيعية، مثل أشعة الشّمس والرياح والمد والجزر والطّاقة الحرارية لباطن الأرض، والتي يمكن أن تتجدد بشكل تلقائي "دوري" طبيعياً.

على الصعيد المحلي بينت نتائج مسح الطّاقة المنزلي (تموز 2013)، الذي نفذه الجهاز المركزي للإحصاء الفلسطيني، أن حوالي 62% من الأسر الفلسطينية تستخدم السخانات الشّمسية للحصول على المياه الساخنة؛ ما يؤدي إلى توفير أكثر من 600 جيجا واط. ساعة؛ وتقدر قيمتها بأكثر من 100 مليون دولار سنويًا، حسب سلطة الطّاقة.

**نشاط (2):** هل يعتبر التّوجه التالي استغلالاً للطّاقة المتجددة في فلسطين؟

ويمكن لموارد الطّاقة المتجددة أن توفر الحرارة والضوء والكهرباء للملايين دون الاعتماد على الوقود الأحفوري الملوث للبيئة والباهظ الثمن، حيث لم تعد الطّاقة الكهربائية المستخرجة من طاقة الرياح والطّاقة الشّمسية وغيرها من مصادر الطّاقة المتجددة باهظة الثمن في هذه الأيام، وهي بالتأكيد في طريقها للانتشار بشكل واسع نظراً لأن أسعار تركيبها تهبط يوماً بعد يوم مع التّطور التّكنولوجي المستمر.

**إن تطوير مصادر الطّاقة المتجددة يوفر مجموعة كبيرة من المزايا منها:**

1- خلق فرص عمل مهمة، كما أنها تساعد في تأمين استثمارات جديدة في مجموعة واسعة من الصّناعات على المستوى المحلي والإقليمي.

2- توفر تكنولوجيات الطّاقة المتجددة فرصة فريدة للحدّ من انبعاث الكربون وفي إبطاء تغير المناخ وإثارة الوخيمة على الدول من ارتفاع في درجة حرارة الأرض، وارتفاع مستوى سطح البحر ونسبة الأمراض.

3- إمكانية بناء محطات على مستوى مصغر جداً، وهذا يؤدي لإيصال الطّاقة إلى مناطق بعيدة ونائية، حيث يمكن تنفيذ محطات توليد مصغرة من الطّاقة المتجددة تهدف مثلاً إلى إنارة منازل قرية نائية.

## أهمية الطّاقة المتجددة:

إن دراسة موضوع الطّاقة ومفهومها وأشكالها وتحويلاتها ونقلها وتخزينها يعدّ موضوع دراسة عميقٌ جداً ومتشعب بشكلٍ كبير، وهو يدخل في صميم تخصصات مختلفة، كعلم الفيزياء والكيمياء ومعظم علوم الهندسة والفلك والفضاء وغيرها من العلوم. ازداد الاهتمام بالطّاقة المتجددة بشكل ملفت في السنوات الأخيرة خاصة في ظل التطور الكبير في التوسع في التكنولوجيا الحديثة وتطبيقاتها واستخداماتها، والتي تشهد تطوراً كبيراً في استهلاك الطّاقة بأشكالها المختلفة.

ولكن الأسئلة التي ما زالت مطروحة حول الطّاقة كثيرة جداً، وقد يتم تلخيص بعضها فيما يلي: ما مصادر الطّاقة المتاحة للبشرية؟ وهل يجب الحصول على الطّاقة بأي ثمن؟ وهل يمكن الحصول على الطّاقة بغير التأثير على مقدرات البشر والكائنات الحية الأخرى؟ وهل تتوفر كميات كبيرة من الطّاقة، حيث تكفي للنهم الكبير الذي يجتاح العالم لهذه السّلعة المهمة، وكيف؟

**يمكن تحديد الأسباب وراء هذا الاهتمام بالطّاقة المتجددة على حساب الطّاقة التقليدية بالآتي:**

1- معظم مصادر الطّاقة المستخدمة حالياً يأتي من بعض أشكال الوقود الأحفوري من مناجم الفحم وآبار النفط، وكذلك من محطات التوليد النووي بالدرجة الثانية وغيرها من المصادر بالدرجة الثّالثة، وأصبح من المعلوم للجميع بأن الوقود الأحفوري سوف يُستهلك بسرعة كبيرة، حيث يمكن أن ينضب معها الاحتياطي جميعه الموجود خلال مدة لا تتعدى قرناً واحداً من الزمن.
2- معظم مصادر الطّاقة الحالية تعتبر مصادر غير نظيفة، واستخدامها يلوّث البيئة، وهي محدودة في الكمية، إضافة إلى أن له تأثيرات وخيمة على الاحتباس الحراريّ من تقلبات في الطقس، وثقب لطبقة الأوزون، وذوبان الجليد في القطبين، وزيادة حدة الكوارث الطبيعية.
3- لا تتوفر مصادر الوقود الأحفوري في الدول جميعها بشكل كافٍ إلا في بعض منها، وبالتالي تعاني معظم دول العالم، وبخاصة الدول المتقدمة تكنولوجياً والتي تفتقر إلى تلك الموارد.
4- تذبذب أسعار الوقود الأحفوري (بترول، غاز طبيعي، وغيرها).

| | |
|---|---|
| نشاط (3): | قارن بين أسعار برميل النفط في العالم خلال العرين سنة الماضية، ارسم العلاقة بين السعر والسنة في رسم بيانيّ وناقشه مع زملائك. |

### الطّاقة غير المتجددة:

تولد معظم الطّاقة الكهربائية في الوقت الحالي من الفحم الحجري، النفط، الغاز الطبيعي. وتعتبر هذه المصادر جميعها مصادر طاقة غير متجددة، لأنه حينما يتم استخراجها من الأرض فلا يتم استبدالها مباشرة، حيث أن تشكل هذه المصادر استغرق ملايين السنين في الحقيقة، حيث إن البشر قد استنفذ كميات كبيرة منه في أقل من (200) عام فقط، لذلك فإنه في حال استنفذت مصادر الطّاقة غير المتجددة جميعها، فإنه لن يتم استرجاعها خلال فترة قصيرة.

### أنواع محطات التوليد الكهربائية التقليدية:

إن الوقود الأحفوري يعدّ مصدر الطّاقة المستخدم بشكلٍ أساسي في توليد الطّاقة الكهربائية في الوقت الحالي، وهو الوقود الرئيسيّ للمحطات التقليدية، ويجدر الإشارة هنا إلى بعض أنواع محطات التوليد المستعملة على صعيد عالمي:

- ❖ محطات التوليد الحرارية (البخارية).
- ❖ محطات التوليد ذات الاحتراق الداخلي (ديزل – غازية).
- ❖ محطات الطّاقة النووية.

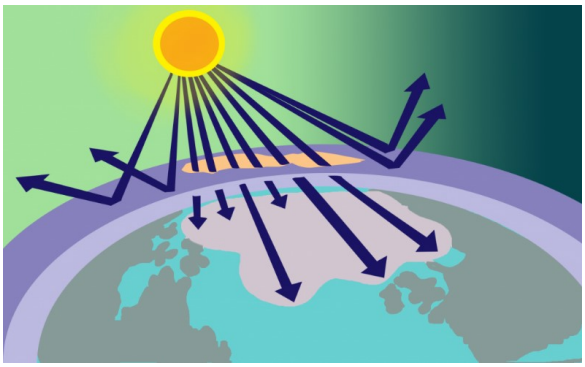
برزت مشاكل كبيرة نتيجة انتشار هذه المحطات، ومن أهمها:

- **التلوّث:**

يعرّض الوقود الأحفوري البيئة لمشاكل التلوّث؛ بسبب إصداره مواد مضرّة عند احتراقها كأول أكسيد الكربون، وسببت مشاكل التلّوث أضراراً كبيرة لسطح الأرض والإنسان، وظهرت العديد من الأمراض الخطيرة المتعلّقة بالتلوث والتي يمكن أن تقتل الإنسان والحيوان.

- **طبقة الأوزون:**

أدّت الزيادة في حرق الوقود الأحفوري إلى ثقب طبقة الأوزون التي تحمي الأرض من تسرّب الأشعة الخطيرة والتي بدورها تؤذي الإنسان والبيئة وتعرّضهما لمشاكل كبيرة، وتؤدّي إلى الإصابة بالعديد من الأمراض.



- **ارتفاع درجة حرارة الأرض:**

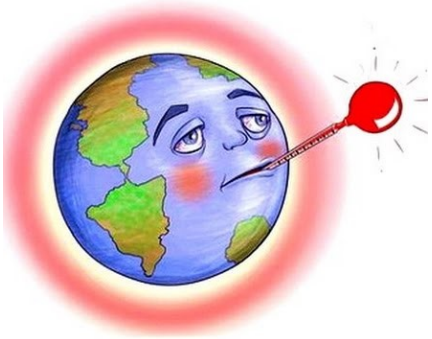
إن استخدام الوقود الأحفوري، ساعد في رفع درجة حرارة الأرض بشكلٍ كبير مما أدّى إلى نضوب مياه الأمطار، وسيتسبب لاحقاً بذوبان الثلوج عند الأقطاب، وتعرف هذه الظاهرة بظاهرة الاحتباس الحراري.

- **الاحتباس الحراري**

ازدياد درجة الحرارة السطحية المتوسطة في العالم مع زيادة كمية ثاني أكسيد الكربون، الميثان، وبعض الغازات الأخرى في الجو. هذه الغازات تعرف بالغازات الدفيئة؛ لأنها تسهم في تدفئة جو الأرض السطحيّ.

**أسباب ظاهرة الاحتباس الحراري**

1- الثورة الصناعية والأنشطة البشرية التي أدّت إلى زيادة معدل انبعاث الغازات الدفيئة في الغلاف الجوي، ومن أبرزها: غاز ثاني أكسيد الكربون، أكسيد النيتروز والغازات المفلورة الناتجة عن أجهزة التبريد.



2- إزالة الغابات، التي تؤدّي إلى تقليل عدد الأشجار التي تسهم في تخليص الهواء من ثاني أكسيد الكربون.

3- الانفجارات البركانية وما ينتج عنها من مخلفاتٍ في الغلاف الجوي، من ثاني أكسيد الكربون.

| | |
|---|---|
| نشاط (4): | مستعيناً بالمكتبة أو بشبكة (الإنترنت) أجري بحثاً عن التّغيّر التّاريخي لدرجات الحرارة على سطح الأرض، قدمه لزملائك ومعلمك بطريقة العرض المحوسب. |

**الظواهر المتوقعة نتيجة الاحتباس الحراري**

- حدوث كوارث زراعية وفقدان بعض المحاصيل.
- احتمالات متزايدة بوقوع أحداث متطرفة في الطقس.
- زيادة حرائق الغابات.
- ازدياد الفياضانات لأن أجزاءً كبيرة من الجليد ستنصهر، وتؤدي إلى ارتفاع مستوى سطح البحر
- غرق الجزر المنخفضة والمدن الساحلية.
- حدوث موجات جفاف وتصحر مساحات كبيرة من الأرض.
- زيادة عدد العواصف والأعاصير وشدتها.

## الطّاقة المتجددة:

الطّاقة المتجدّدة هي الطّاقة التي يتمّ الحصول عليها من مصادر لا تنضب أي نحصل عليها من مصادرها الطبيعية، وهي بذلك على عكس الطاقات غير المتجددة الموجودة غالباً في مخزون في الأرض لا يمكن الاستفادة منها إلا بعد تدخل الإنسان لإخراجها. كما وتوصف بالطّاقة النظيفة غالباً، فهي لا تنتج مخلّفات تلوّث البيئة كما هو الحال في الفحم الأحفوري، الذي ينتج ثاني أكسيد الكربون، وبالتّالي هي أفضل للبيئة، ويضمن توافرها دائماً، ليس كما البترول الذي في طريقه للنفاذ.

يوجد الكثير من أشكال الطّاقة المتجدّدة، نذكر منها ما هو موضح في الشكل الآتي:

1- الطّاقة الشمسية(Solar Energy)

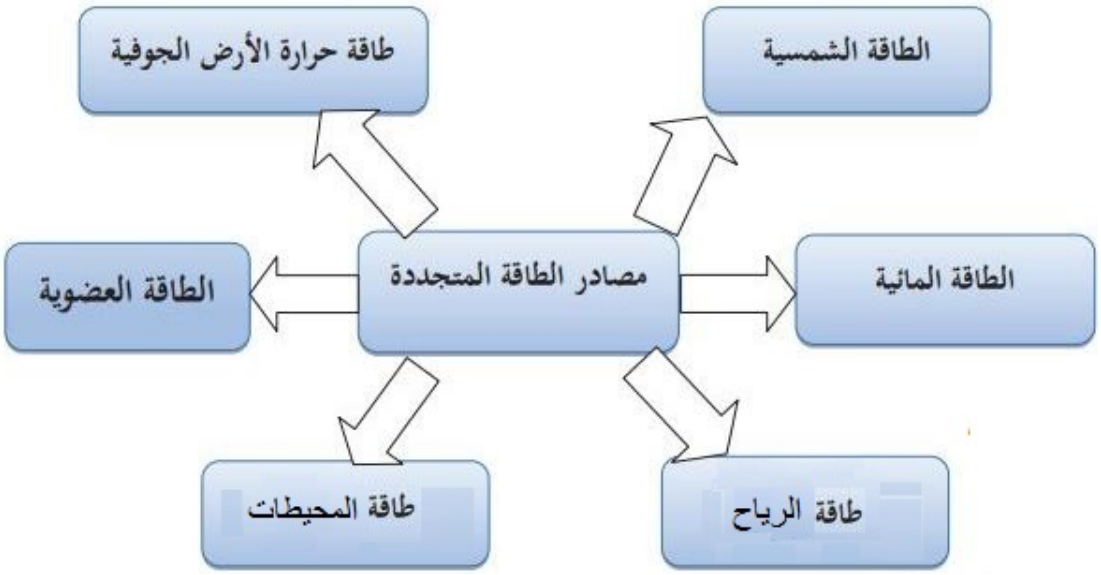
2- الطّاقة المائية(Hydrothermal Energy)

3- الطّاقة الحيوية (العضوية)(Biomass Energy)

4- طاقة الرياح(Wind Energy)

5- الطّاقة الحرارية الأرضية(Geothermal Energy)

6- طاقة المحيطات والبحار"طاقة المد والجزر"(Tidal Energy)



| أسئلة الدرس: | |
|---|---|
| 1- | عرف الطّاقة المتجددة. |
| 2- | ما الأسباب التي دفعت للاهتمام بالطّاقة المتجددة؟ |
| 3- | اذكر ثلاثة من أنواع الطّاقة المتجددة. |
| 4- | ما تعريف ظاهرة الاحتباس الحراري؟ |

تتنوع طرق حصاد الطاقة الكامنة في مصادرها الطبيعية ولتنفيذ هذه الخطوة لابد من توفر تكنولوجيا خاصة ملاءمة لنوع الطاقة المنوي الإستفادة منها، فلا يمكن إستخلاص الطاقة من الرياح مثلا بنفس آلية إستخلاصها من طاقة باطن الأرض وسنتناول في هذا الدرس أنوع الطاقات المختلفة وطرق إستغلالها.

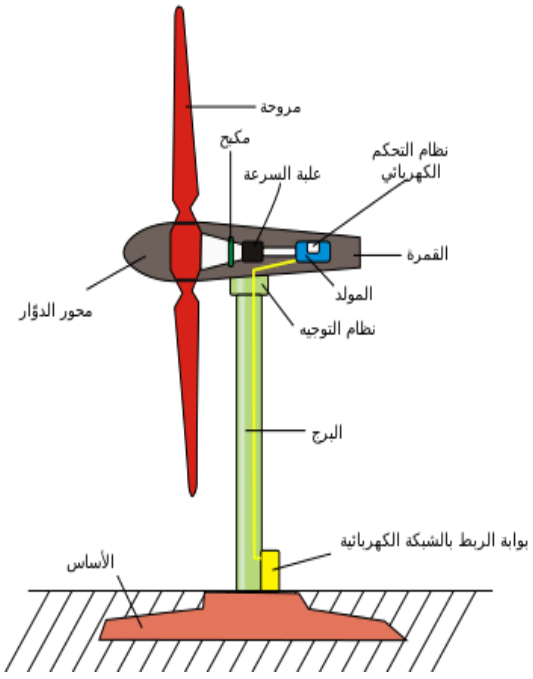
### 1) طاقة الرياح: (Wind Energy)

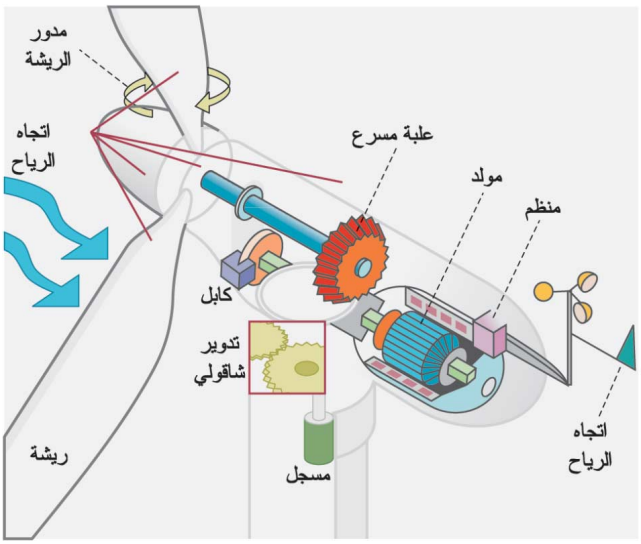
استخدمت طاقة الرياح منذ آلاف السنيين في دفع المراكب، وفي طحن الحبوب والري وفي ضخ المياه وفي بعض التطبيقات الميكانيكية الأخرى. وتشير المخطوطات التاريخية إلى أن الفُرس هم أول من استخدم طاقة الرياح في إدارة الطواحين لطحن الحبوب وضخ المياه. وتحتل طاقة الرياح في الوقت الحاضر مكانة مهمة بين مصادر الطّاقة المتجددة، وشهد هذا النوع تطوراً سريعاً جداً، حيث كان مجموع ما تم تركيبه من توربينات الرياح في سنة 1996 حوالي 6 جيجا واط، وقفز هذا الرقم ليصل إلى 487 جيجا واط في سنة 2016، وقد أتى هذا الازدياد نتيجة لتطور تكنولوجيا التوربينات وتطور بنيتها، إذ أصبح تركيبها ممكناً ومنتشراً بشكل كبير حتى داخل المياه المحاذية للشطوط، فالتّيارات الهوائية تنشط على مدار العام.

تتولد الرياح نتيجة لامتصاص أسطح الأرض والبحار والمحيطات لأشعة الشمس بنسب متفاوتة. فعند سقوط أشعة الشمس على سطح ما يتأثر الغلاف الجوي ويسخن الهواء مما يؤدي إلى انخفاض كثافته، وهو عكس ما يحدث في المناطق التي ينخفض فيها مقدار الإشعاع الشمسي، وتبعا لذلك ينتقل الهواء من منطقة الضغط المرتفع، فيقل الإشعاع الشمسي، إلى منطقة الضغط المنخفض، حيث الإشعاع الشمسي الأكثر ويؤدي ذلك إلى نشوء الرياح.

### توليد الكهرباء من الرياح

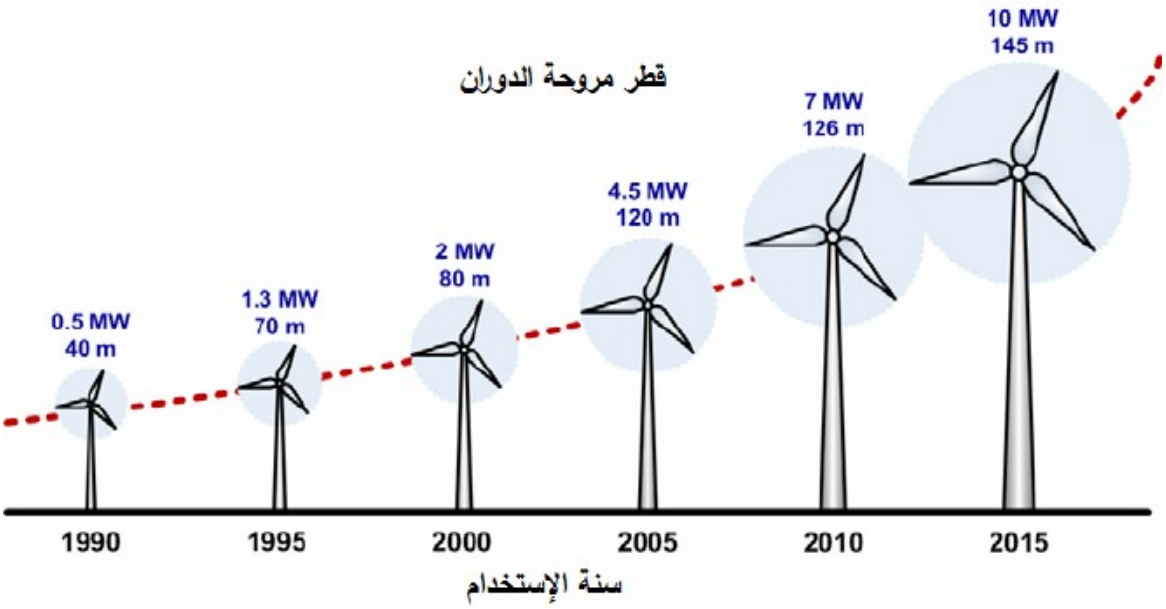
يتم استغلال طاقة الرياح لتوليد الكهرباء عن طريق جهاز يسمى التوربين، *حيث يعرف توربين الرياح بأنه أداة ميكانيكية تقوم بتحويل الطّاقة الحركية الكامنة في الرياح إلى طاقة حركية دائرية تستخدم في توليد الكهرباء*. انظر الشكل المجاور للتوضيح.






تتلخص فكرة إنتاج الطّاقة الكهربية من توربينات الرياح على النحو التالي، تعمل الطّاقة الحركية للرياح على إدارة المروحة المثبتة على محور الدوران الذي يرتكز بدوره على البرج يتصل محور الدوران بصندوق سرعات يتولى رفع سرعة الدوران، ثم تنتقل الحركة إلى مولد كهربائيّ متصل بمحور الدوران مسبباً دوران المولد وبالتالي توليد الطّاقة الكهربائية. أما إذا ارتفعت سرعة الرياح فإن الفرامل الكوابح تمنع الريش من الدوران مخافة أن يؤدي دورانها بسرعة عالية إلى تحطمها وتكسير الأجزاء الدّوارة، وتُعَرف السرعة العالية في التوربينة بأنها الأعلى من 25 متر/ثانية. ولضمان توجيه ريش التوربينات نحو اتجاه الريح، يوجد نظام توجيه خاص بالتوربينة يعمل على توجيه التوربينة في اتجاه الرياح.

تختلف قدرات التوربينات حسب تصميمها والغاية منها، فمثلاً توجد توربينات من قدرة 1 كيلوواط إلى قدرة 300 كيلو واط وصولاً إلى قدرات عالية في الوقت الراهن حوالي 5000 كيلوواط، إلا أن استخدامها ما زال على نطاق ضيق. انظر الشكل التالي للتوضيح.



تنقسم توربينات الرياح إلى أقسام رئيسية عديدة حسب التصميم والغرض من الاستخدام، ومنها:

### 1- توربينات الرياح الأفقية المحور

تتكون توربينات الرياح الأفقية المحور في الغالب من ثلاث ريش يمكن وضعها عكس اتجاه الريح أو في مواجهتها، علما بأن بدايات. ويرجع سبب استخدام الثلاث ريش إلى أن توزيع وتوازن الأحمال على محور الدوران يكون أفضل من استخدام ريشة واحدة أو ريشتين. انظر الشكل المجاور للتوضيح.

يمتاز هذا النوع من بتصميمه البسيط حيث يمكن وضع مراوح ذات مقاسات ضخمة وذلك لزيادة المساحة التي تعبرها الرياح وبالتالي حصاد أكبر للطاقة، ولكن أيضاً يحمل هذا التصميم بعض العيوب تتلخص في كونها معرضة للاهتزاز الميكانيكي وبحاجتها إلى مواجهة الريح بشكل مباشر لكي تعمل، فهي غير صالحة للاستخدام في المناطق التي يتغير فيها اتجاه الريح باستمرار، ومن عيوبها أيضاً أن الصيانة تكون صعبة ومكلفة لأن كلّ مكونات النظام تكون مثبتة في أعلى البرج.

### 2- توربينات الرياح الرأسية المحور

تتميز التوربينات الرأسية المحور بمحور رأسي للدوران، وغالباً ما تستعمل هذه التوربينات في التطبيقات الميكانيكية، مثل ضخ المياه، كما أن عدد الريش يزيد عن ثلاثة ريش، انظر الشكل المجاور للتوضيح. وتعتبر توربينة داريوس من أشهر أنواع التوربينات الرأسية المحور والتي تأخذ شكل خفاقة البيض، وتنسب هذه التوربينة إلى جورج داريوس George Darrieus مبتكرها عام 1931.

ما يميّز هذا النوع من التوربينات أنها لا تحتاج إلى نظام توجيه في اتجاه الرياح وبالتالي يكثر استخدامها في المناطق التي تشهد تغيراً كبيراً في إتجاه الرياح، كما أن عمليات التشغيل والصيانة الخاصة بها تتميز بسهولتها مقارنة بالتوربينات الأفقية المحور كون المكونات موجودة على الأرض أسفل محور الدوران.

| | |
|---|---|
| نشاط (5): | لو تم وضع توربين رياح في الماء الجاري لأحد الأنهر، هل سيعمل التوربين؟ حضر دراسة افتراضية لهذه الحالة مع زملائك، واعرضها على مدرسك. |

**الطّاقة الكامنة في الرياح**

تعتبر الطّاقة الحركية هي الطّاقة الرئيسية في الرياح وتمثل الطّاقة الكامنة في الرياح التي يمكن حصادها بواسطة توربين الرياح بالمعادلة التالية: $P_{wind} = 1/2\ \rho\ A\ V^3$

حيث:

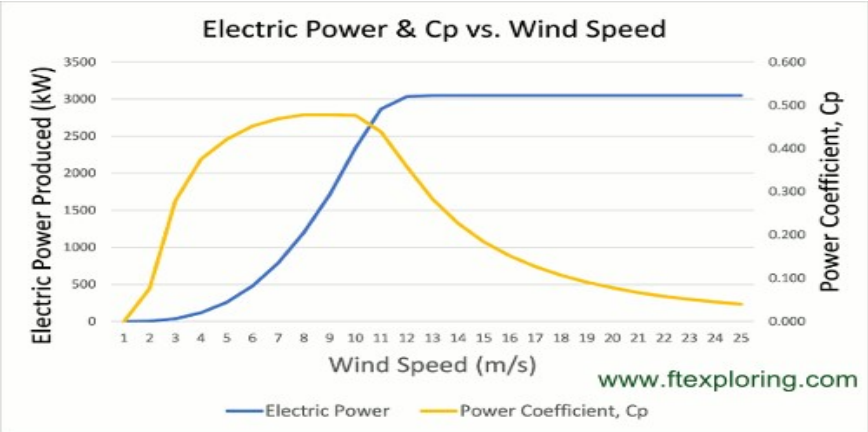
ρ : كثافة الهواء المار على شفرات المروحة ( كغم/متر مكعب).

A : المساحة التي تمسحها شفرات المروحة خلال الدوران ( متر مربع ).

V : سرعة الرياح المارة على شفرات المروحة ( متر/ثانية).

الجدير بالذكر أن الطّاقة المحتسبة بواسطة المعادلة التالية ليست هي الطّاقة التي يمكن تحويلها إلى كهرباء بشكل مباشر فهناك معامل طاقة Cp لكل توربين رياح، يمثل هذا المعامل كامل الخسارات في التوربين (الميكانيكية + الكهربائية)، ويعتمد هذا المعامل على سرعة الرياح ويمكن إيجاده في منحنيات ملحقة بالتوربين الهوائي.

يمثل الشكل التالي أحد هذه المنحنيات الخاصة بأحد التوربينات



نلاحظ أن الخط الأزرق يمثل كمية الطّاقة الكهربائية التي يمكن إنتاجها عند سرعات الهواء المختلفة (سرعات الرياح على محور السينات وكمية الطّاقة الكهربائية على محور الصادات الأيسر) ويمثل الخط البرتقالي معامل الطّاقة عند سرعات الرياح المختلفة (سرعات الرياح على محور السينات ومعامل الطّاقة على محور الصادات الأيمن)

**سؤال:**

توربين للرياح طول إحدى شفراته= 15 متراً وموضوع في مواجهة رياح سرعتها = 15متر/ثانية، إذا علمت بأن كثافة الهواء في تلك المنطقة يبلغ 1.23 كغم/مكعب، احسب ما يلي:

1- القدرة المستخلصة من الرياح بواسطة هذا النظام.

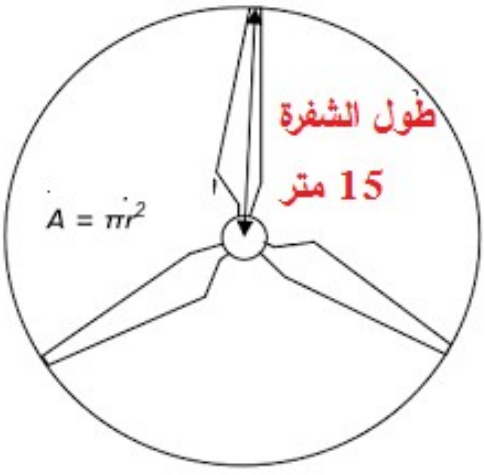
2- الطّاقة الكهربائية المنتجة إذا كان معامل الطّاقة Cpعند سرعة الرياح المعطاة يساوي = 0.52

الحلّ:

1- القدرة المستخلصة من الرياح يمكن حسابها من المعادلة التالية: $P_{wind} = 1/2\ \rho\ A\ V^3$

كل المعطيات موجودة ما عدا المساحة التي تمسحها شفرات المروحة خلال الدوران، ولكن طول الشفرة الواحدة = 15 متراً وأثناء دورانها فإنها تمسح شكل دائري نصف قطره 15 متراً، انظر الشكل المجاور للتوضيح، فإن مساحة الدائرة يمكن حسابها بسهولة بواسطة المعادلة نق$^2$ π

مساحة الدائرة تساوي= $15^2$ × 3.14 = 706.5 متر مربع.




بالرجوع إلى معادلة القدرة الخاصة بالرياح P = 0.5 × 1.23 × 706.5 × $15^3$ = 1466429واط.

2- الطّاقة الكهربائية المنتجة = طاقة الرياح المحصودة ×Cp

= 1466429 × 0.52 = 762543 واط

**مزارع الرياح**

تعد توربينات الرياح حجر الأساس لأي نظام توليد طاقة باستخدام الرياح، ولكن على مستوى الإنتاج الكبير للطاقة لا يتم وضع توربين واحد، ولكن يتم وضع عشرات وأحيانا مئات التربينات في مكان واحد يسمّى مزرعة الرياح، انظر الشكل المجاور للتوضيح.

وتعد هذه العملية عملية معقدة للغاية حيث إن الرياح حينما تمر عبر شفرات التوربين يحدث بها انحرافات وتقل سرعاتها بشكل كبير، لذلك فإن وضع توربين رياح ملاصق يؤدي إلى انخفاض كفائته بشكل كبير، وعليه فإن عملية توزيع التوربينات على الأرض معقدة وتستخدم بها أجهزة كمبيوتر؛ من أجل إجراء محاكاة للحصول على أفضل توزيع للتوربينات.

**تنقسم مزارع التوربينات إلى نوعين:**

1- مزارع رياح على اليابسة، حيث توضع التوربينات على قطعة أرض بعد تحديد سرعات الرياح الخاصة بهذه الأرض على مدار العام لضمان صلاحية هذه الأرض كمزرعة رياح.

2- مزارع رياح في البحر، حيث توضع التوربينات داخل المياه بالقرب من المناطق الساحلية التي تمتاز بوجود رياح قوية ومستمرة على مدار العام. انظر الشكل المجاور للتوضيح.

هناك العديد من المشاكل المرتبطة بمزارع الرياح، إذ أن توربينات الرياح تنتج ضوضاء عالية تمنع إقامة مناطق سكنية بالقرب منها، وأيضاً هناك مشاكل مرتبطة بحركة الطيران فوق مزارع الرياح، حيث إن بعض أنواع التوربينات قد يصل ارتفاعها إلى أكثر

من 220 متراً وهو ارتفاع أكبر من الأهرامات، لتوضيح الارتفاع الشاهق للتربينات، انظر الشكل المجاور. وأخيراً هناك اعتبارات بيئية، حيث إن التوربينات مسؤولة عن نفوق الكثير من الطيور المهاجرة التي تعتمد على تيارات الهواء العالمية من أجل هجرتها.

**نشاط: باستخدام مواقع (الإنترنت)، ابحث عن مواقع مناسبة لإقامة مزارع رياح في فلسطين.**

**ربط مزارع الرياح بشبكة الكهرباء**

يعد ربط مزارع الرياح بالشبكة الكهربائية أمراً صعباً، حيث إن توربينات الرياح تدور بسرعات مختلفة لذلك تنتج طاقة كهربائية بجهود متغيرة وتردد متغير، وفي الناحية الأخرى فإن جهد الشبكة الكهربائية وترددها ثابتان.

تنقسم توربينات الرياح إلى قسمين رئيسيين من ناحية تحويل الطّاقة الحركية الدائرية إلى طاقة كهربائية:

1- توربينات مزودة بصندوق تروس، حيث يتم تزويد توربين الرياح بصندوق تروس من أجل رفع سرعة دوران المحور إلى سرعات عالية تقارب ال1500 دورة في الدقيقة، وذلك من أجل ضمان توليد فولتيات عالية وتردد قريب على تردد الشبكة الكهربائية، يمتاز هذا النوع من التوربينات بصغر حجم المولد الكهربائي فيه، ولكن أيضاً وجود أداة ميكانيكية معقدة، مثل صندوق التروس تخفض كفاءة التوربين وتجعله بحاجة إلى صيانة معقدة ومتكررة، انظر الشكل الآتي الذي يوضّح توربيناً بصندوق تروس.

2- توربينات رياح مباشرة الربط، ويكون المحور الدوار للتوربين موصولاً بشكل مباشر إلى المولد الكهربائي، ويمتاز هذا النوع بقلة حاجته إلى الصيانة، وصغر حجمه ولكن في الوقت نفسه فإن سرعة الدوران البطيئة لمحور الدوران يدفع بالحاجة التي تركيب مولد ضخم ومكلف مقارنة بالمولد اللازم في حال استخدام صندوق تروس. انظر الشكل المجاور الذي وضّح توربين رياح مباشر الربط.

كلا النظامين السابقين يولدان طاقة كهربائية بجهد وتردد متغيريين، لذلك يتم استخدام محول خاص يقوم بتحويل الفولتية والتردد الخارجين من المولد الكهربائي الخاص بالتوربين إلى جهد وتردد مطابقين للشبكة المراد وصل التوربين عليها، ويتم بعد ذلك استخدام محولات رفع جهد لرفع الجهد الخارج من التوربين ومن ثم ربط هذا التوربين بشبكة الكهرباء.

## 2) طاقة التوليد المائية: (Hydropower Energy)

لقد استخدم الإنسان منذ القدم الطّاقة الناتجة عن المياه المتحركة لإنتاج الطّاقة، وقد وجد علماء الآثار دلائل تشير إلى استخدام الإنسان لطواحين المياه المركبة على مجاري الأنهار لطحن الحبوب منذ حوالي (3000) سنة مضت، وفي هذه الأيام تستخدم طاقة المياه الساقطة في توليد الكهرباء بواسطة مولدات كهربائية في السدود الهيدروكهربائية.

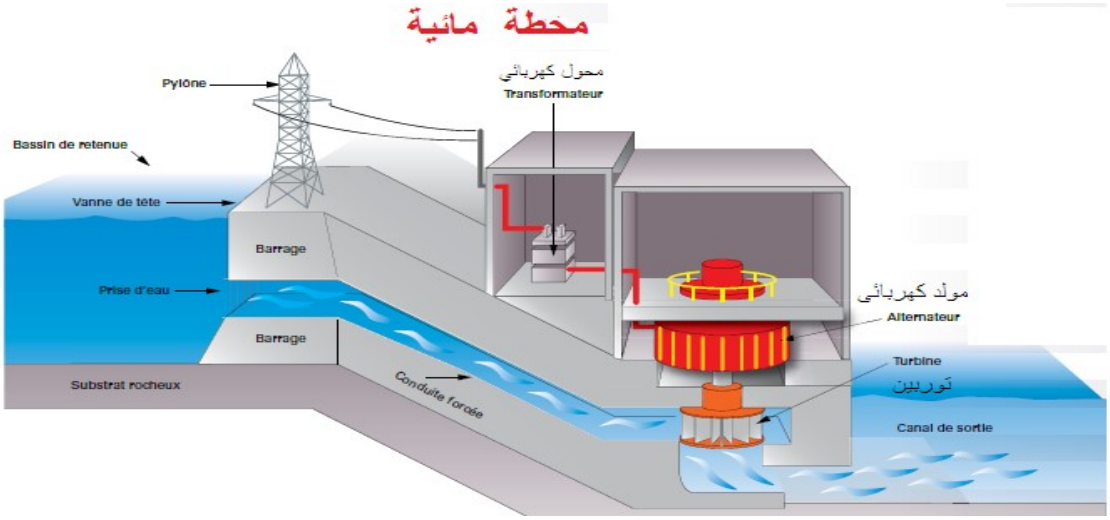
**ويمكن تعريف الطّاقة المائية على أنها استخدام القوة المائية فتتولد الطّاقة الكهربائية.**

وحيثما توجد المياه في أماكن مرتفعة، كالبحيرات ومجاري الأنهار يمكن التفكير بتوليد الطّاقة، خاصة إذا كانت طبيعة الأرض التي تهطل فيها الأمطار أو تجري فيها الأنهار جبلية ومرتفعة. ففي هذه الحالات يمكن توليد الكهرباء من مساقط المياه، أما إذا كانت مجاري الأنهار ذات انحدار خفيف فيقتضي عمل سدود في الأماكن المناسبة من مجرى النهر لتخزين المياه، ومن ثم استخدامها.

يُعدّ سدّ الممرّات الثلاث في الصين أكبر السُّدود في العالم من حيث كميّة الكهرباء التي يتمّ توليدها عن طريقه، فهو يُعدّ من كُبرى محطّات توليد الطّاقة الكهربائيّة في العالم، وتُقدَّر كميّة الطّاقة التي يُنتجها 22500 ميجاواط بما يُعادل كميّة الطّاقة الناتجة عن 34 محطة توليد كهرباء ضخمة، وهو ما يُعادل كميّة الطّاقة التي تنتج من حرق 50 مليون طنّ من الفحم، أو حرق 25 مليون طنّ من النفط الخام، ويقع سدّ الممرات الثلاث على ثالث أطول نهرٍ في العالم وهو نهر اليانغتسي في مقاطعة هوبي الصينيّة. انظر الشكل المجاور الذي يوضّح الحجم الهائل لتوربينات التوليد، حيث يحتوي السد على 34 توربينة توليد 32 منها بحجم 700 ميجا واط واثنتين بحجم 50 ميجا واط.

**مبدأ عمل السدود:**

تمتلك المياه الموجودة على ارتفاع معين طاقة كامنة في موقعها، فإذا هبطت كمية المياه إلى ارتفاع أدنى، تحولت الطّاقة الكامنة إلى طاقة حركية، ففي السدود يتم تسليط هذه المياه على توربينه" عنفة"مما يسبب دورانها بسرعة كبيرة، وبالتالي ستمتلك التوربينة طاقة حركية دائرية كبيرة، فإذا ربطت (التوربينة) مع محور المولد الكهربائي فإن هذا المولد سينتج طاقة كهربائية بدوره. الشكل الآتي يوضّح هذه العملية.



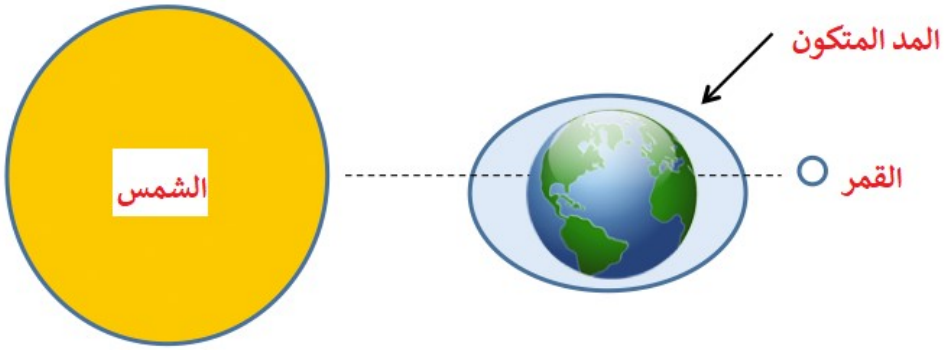

**نشاط:** تقوم دولة أثيوبيا ببناء سد يسمّى سد النهضة، وهذا سبب مشكلة مع دولة مصر نظراً لتخوفها من جفاف سيلحق بها.

حلل الموضوع وأخرج بنقاط محددة لماذا يؤدي بناء السدود إلى جفاف في الأنهر المقام عليها، وما حلولك المقترحة؟

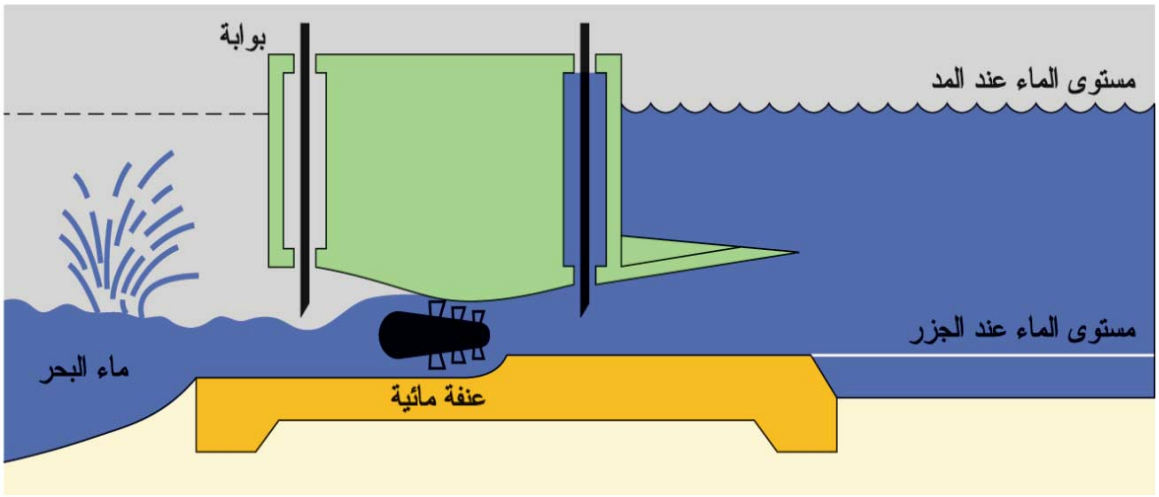
### 3) طاقة المد والجزر: (Tidal Energy)

المد والجزر من الظواهر الطبيعية المعروفة فهذه الظاهرة تسبب ارتفاع مياه وانخفاضها في ساعات اليوم الواحد. إن هذا الارتفاع ناتج عن جاذبية القمر عندما يكون قريباً من هذه السواحل، وأن ذلك الانخفاض يحدث عندما يكون القمر بعيداً عن هذه السواحل، أي عندما يغيب القمر، فإذا ركزنا الانتباه على مكان معين، وكان القمر ينيره في الليل، فهذا يعني أنه قريب من ذلك المكان وأن جاذبيته قوية. لذا ترتفع مياه البحر. وبعد مضي اثنى عشرة ساعة من ذلك الوقت، يكون القمر بالجزء المقابل قطرياً، أي بعيداً عن المكان ذاته بعداً زائداً بطول قطر الكرة الأرضية فيصبح اتجاه جاذبية القمر معاكسة، وبالتالي ينخفض مستوى مياه البحر.

أكثر بلاد العالم شعوراً بالمد والجزر هو الطرف الشمالي الغربي من فرنسا، حيث تصل مسافة المد والجزر المحيط الأطلسي على سواحل شبه جزيرة برنتانيا إلى ثلاثين متراً، وقد أنشئت هناك محطة توليد بقدرة 400 ميغاواط للطّاقة الكهربائية.

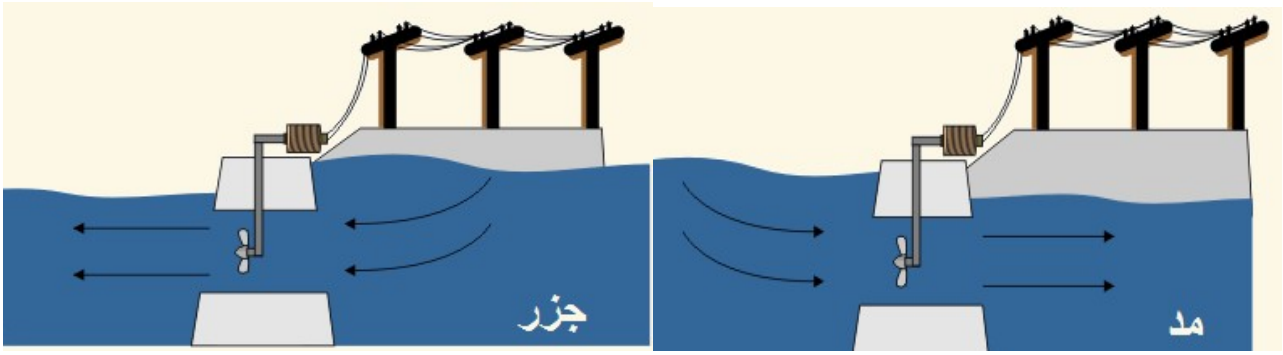


للاستفادة من هذه الطّاقة توضع توربينات خاصة في مجرى المد فتديرها المياه الصاعدة، ثم تعود المياه



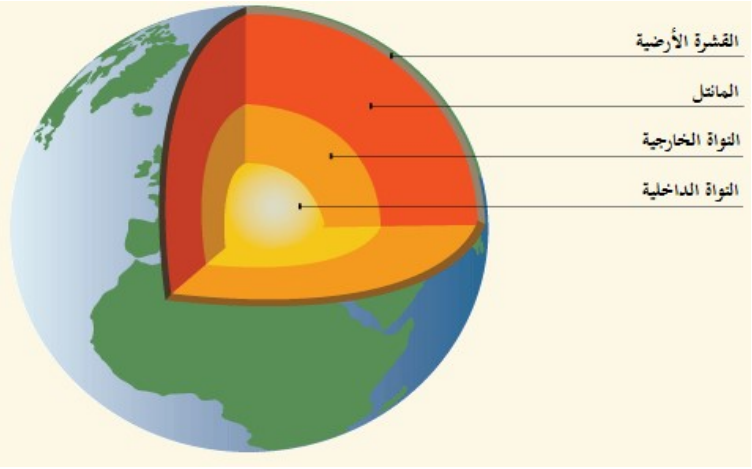

الهابطة وتديرها مرة أخرى، انظر الأشكال الآتية للتوضيح.

ومن الأماكن التي يكثر فيها المد والجزر السّواحل الشّمالية للخليج العربي في منطقة الكويت، حيث يصل




أعلى مد إلى ارتفاع 11 متراً، ولكن هذهالظاهرة لا تستغل في هذه المناطق لتوليد الطّاقة الكهربائية.

## 4) الطّاقة الحرارية الأرضية: ( طاقة الحرارة الجوفية) (Geothermal Energy)




تبعد نواة الأرض عن سطح الأرض مسافة تصل إلى حوالي (4000) ميل، وتتكون النواة من طبقة ثنائية من الحديد المذاب شديد الحرارة المحيط بمركز الأرض الصّلب المكون من الحديد، وتتراوح درجة حرارة نواة الأرض ما بين (5000 – 11000) درجة فهرنهايتية.

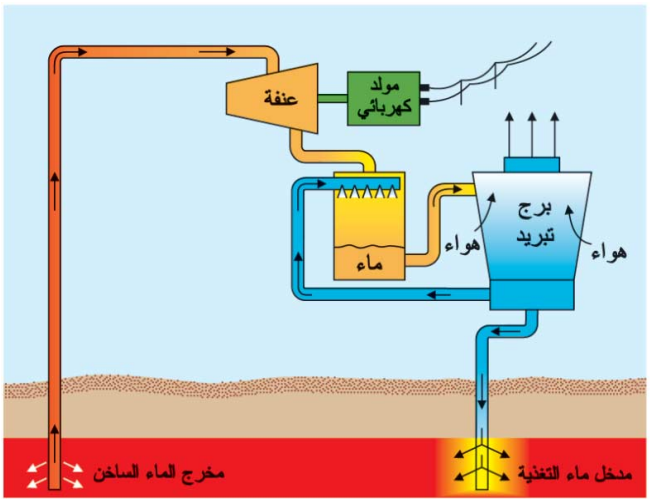
ويحيط بنواة الأرض طبقة تسمّى " عباءة" تتكون إما من الصخور أو من الرواسب، ويبلغ سمكها حوالي (1800) ميل، ويأتي في النهاية قشرة الأرض التي هي عبارة عن طبقة خارجية عازلة من الصخور غير المتصلة، وتتشكل من طبقات فوق بعضها بعضاً. فوجود مثل هكذا طاقة حرارية داخل الأرض يعتبر بمثابة كنز مدفون يجب استغلاله.

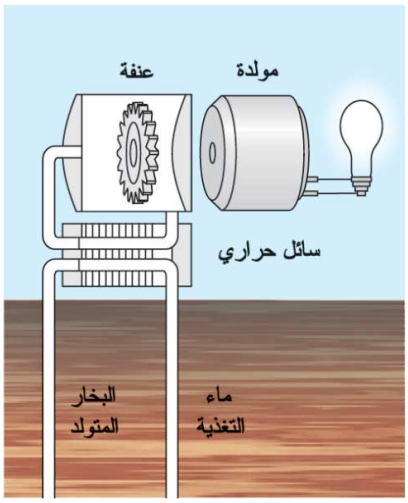
لقد استخدمت البشرية على مدى العصور الحرارة الجوفية كمصدر للاستحمام والطبخ والتدفئة، كما فعل اليونانيون والصينيون وغيرهم في استغلال الينابيع الحارة. وفي الوقت الحالي استخدمت الحرارة الجوفية في المنتجعات السياحية والاستجمام، حيث إنها تحتوي على مياه غنية بالمعادن المفيدة، إضافة إلى استغلالها في تدفئة البيوت وفي الزراعة والصناعة على حد سواء.

كما تستخدم الحرارة الجوفية والبخار الناتج عنها بشكل خاص في هذه الأيام في توليد الطّاقة الكهربائية من خلال حفر آبار تصل إلى تلك الخزانات الحرارية الأرضية بغرض استغلالها في إدارة تربينات تعمل على تشغيل مولدات كهربائية. بينما تستخدم المياه الحارة المتولدة عنها بشكل خاص في تدفئة البيوت.

**مبدأ العمل:**

بصورة عامة إن أية منطقة تتوفر فيها الحرارة الجوفية، حيث يمكن استخدامها لتوليد الطّاقة الكهربائية وذلك من خلال تمديد مسارات للماء من باطن الأرض وإليها لتكوين *الدورة الأولى* التي مدخلاتها ماء ذو درجة حرارة منخفضة ومخرجاتها ماء درجة حرارته مرتفعة والذي بدوره يقوم بتسخين الدورة الثانية من خلال المبادل الحراري وهي تحول السائل الحراري الموجود في الدورة الثانية إلى بخار بدوره يقوم بتحريك توربينات المولد الكهربائي لإنتاج الطّاقة الكهربائية لاستخدامها مباشرة. والشكل الآتي يوضّح آلية عمل هذه المحطات.




تعتبر عملية توليد الكهرباء باستخدام الحرارة الجوفية في المناطق التي تتوفر فيها مجدية جداً، لأنها بالإجمال أرخص من مثيلاتها التي تعمل على الفحم الحجري أو الغاز الطبيعي، إلا أن تكلفتها الابتدائية عالية نوعا ما بالرغم من كونها مجدية على المدى البعيد، كما أنها لا تعتمد على استيراد الوقود من أماكن بعيدة، إضافة لكون عملية الإنتاج تعتبر مستقرة وتعتمد كمية الإنتاج على مستوى الطلب.

**نشاط:**

أجري بحثاً عن ينابيع وادي المالح في فلسطين، وأجري تحليلاً علمياً لسبب سخونة المياه في هذه الينابيع.

### 5) الطّاقة الحيوية: (EnergyBiomass)

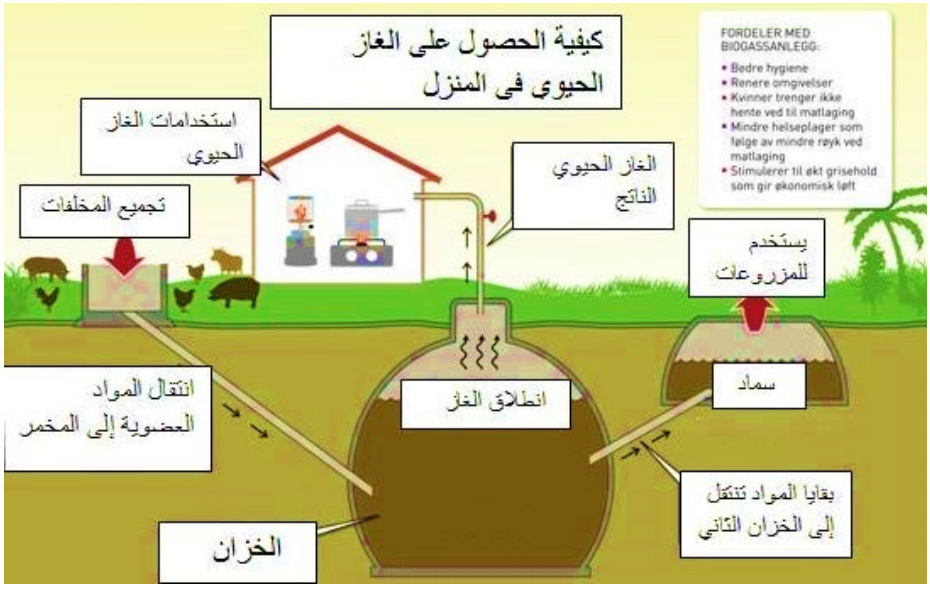
تتمثّل الطّاقة الحيويّة في المواد العضويّة التي يمكن الحصول على الطّاقة منها، مثل الأخشاب، والأسمدة الطبيعيّة، والزيوت، إضافة لغاز الميثان الذي ينتج عن المخلّفات العضويّة، ويمكن الاستفادة من هذه الطّاقة في حظائر الحيوانات، حيث تكثر المخلفات الحيوانية، ولكن هذه الطّاقة لا تعدّ نظيفة كمثيلاتها من الطّاقة المتجدّدة، فالميثان يزيد من الاحتباس الحراري، كما أنّ احتراق الخشب والأسمدة ينتج ثاني أكسيد الكربون.

يطلق مصطلح الطّاقة الحيوية على أي طاقة مستخلصة من النبات أو الأنسجة الحيوانية، ويمكن استخلاص الطّاقة المختزنة في هذه الأشكال من الطّاقة الحيوية إما عن طريق الحرق المباشر، أو بواسطة تغذيتها إلى الكائنات الدقيقة لكي تستهلكها لإنتاج الغاز الحيوي (biogas) والذي يعتبر شكلاً من أشكال الغاز الطبيعي. وما زالت الطّاقة الناتجة عن الطّاقة الحيوية مستخدمة على نطاق العالم، سواء في إعداد الطعام (الطبخ)، أو في التدفئة أو إنتاج الكهرباء.

وهناك أساليب مختلفة لمعالجة أنواع الوقود الحيوي، منها:

**الحرق المباشر:** ويستعمل للطهي والتدفئة وإنتاج البخار غير أن هذه العملية لها مردود حراري ضئيل.

**طرق التخمير:** ويتم بهذه الطريقة جمع المخلفات العضوية في خزان لمرحلة التخمير، وتقوم البكتيريا بتحليل المخلفات منتجة الغاز الحيوي في الذي يتجه بدوره إلى خزانات للتجميع ليتم استخدامه فيما بعد إما بغرض إشعال النار أو بغرض توليد الطّاقة الكهربائية باستخدام محطات حرارية خاصة.




تختلف مكونات الغاز الحيوي باختلاف المواد المستخدمة في إنتاجه، إضافة إلى الآلية المتبعة في إنتاجه، ولكن بمجمل الأحيان يتكون من الآتي:

| المركب | نسبته | رمزه |
|---|---|---|
| الميثان | 50–75 | $CH_4$ |
| ثاني أكسيد الكربون | 25–50 | $CO_2$ |
| النيتروجين | 0–10 | $N_2$ |
| الهيدروجين | 0–1 | $H_2$ |
| كبريتيد الهيدروجين | 0–3 | $H_2S$ |
| الأكسجين | 0–0 | $O_2$ |

**حالة دراسية: تتعرض مكبّات النفايات والحفر الامتصاصية في بعض الأحيان إلى انفجارات عنيفة. بناءً على ما سبق دراسته، ناقش الأسباب التي تؤدي إلى حدوث مثل هذه الانفجارات، وما طرق الوقاية منها؟**

## 6) الطّاقة الشّمسية الحرارية:

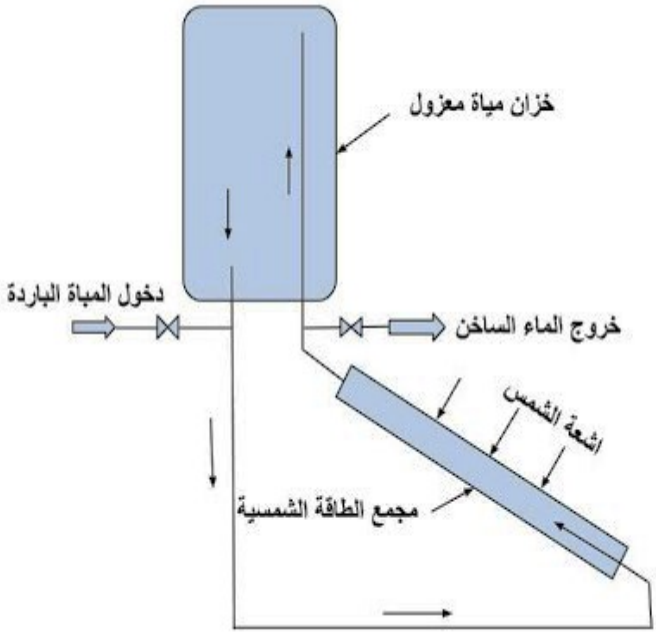
تتكون الأشعة الشمسية الواردة إلى سطح الأرض من حوالي 50% طاقة حرارية، يمكن استخدام هذه الحرارة لأغراض التدفئة وتوليد الطّاقة الكهربائية، تتنوع طرق الاستخدام فمنها مثلاً:

1- استخدام الطّاقة الحرارية للشمس سواء للتسخين المباشر، مثلاً استخدام السخانات الشّمسية.
2- استخدام المجمعات الشمسية المركزة (CSP)، حيث يتم استخدامها في إنتاج الطّاقة الكهربائية من حرارة الشمس من خلال مولدات خاصة.
3- التصميمات المعمارية التي تعتمدعلى استغلال الطّاقة الشّمسية في تدفئة المنازل.

**استخدام الطّاقة الشّمسية لتسخين المياه.**

يتم تحويل الإشعاع الشمسي إلى طاقة حرارية عن طريق المجمعات الشّمسية (السخانات الشّمسية) والمواد الحرارية. فإذا تعرض جسم داكن اللون ومعزول إلى الإشعاع الشمسي فإنه يمتص الإشعاع وترتفع درجة حرارته، ويتمّ استغلال الطّاقة الشمسية في تسخين الماء من خلال نظم تسخين تعمل بواسطة حرارة الشمس.

تتكون السخانات الشّمسية من عنصرين، هما المجمع (اللاقط) الحراري والخزان، إضافة لشبكة التوصيل، كما في الشكل الآتي:




يتم تجميع الإشعاع الشّمسي بواسطة مجمع حراريّ، ونقل الحرارة باستخدام وسيط نقل حرارة (ماء، سائل خاص، ...)، ويمكن استخدام المادة الوسيطة بشكل مباشر (أنظمة ذات دورة/ دارة مفتوحة) أو بشكل غير مباشر بواسطة مبادل حراري ينقل الحرارة إلى وجهتها النهائية (أنظمة ذات دورة/ دارة مغلقة).

**نشاط: ابحث عن الفروقات بين السخانات الشّمسية ذات الدورة المفتوحة والدورة المغلقة.**

**الطّاقة الحرارية الشّمسيّة المركزة (Concentrated Solar thermal Power–CSP):**

تقتصر استخدامات السخانات الشّمسية المباشرة على تسخين المياه لأغراض الاستخدام المنزلي والتدفئة وفي بعض الصناعات. أما في حالة توليد الطّاقة الكهربائية من الطّاقة الحرارية الشمسية يلزم رفع درجة حرارة المياه (أو مواد أخرى) إلى درجات حرارة عالية، ولهذا الغرض تستخدم مجمعات شمسية.

تستخدم المجمعات الشّمسيّة المركزة المرايا لتجميع ضوء الشمس وتركيزها، لتوليد كميات كبيرة من الحرارة، حيث يقوم ضوء الشمس المُجمّع بتسخين الماء أو بعض السوائل الأخرى، لإنتاج البخار ويقوم البخار بتدوير مولد يقوم بدوره بإنتاج الكهرباء.

**هناك أنواع عديدة للمجمّعات الشمسية.**

1- مجمعات القطع المكافئ: وتستخدم محطات الطّاقة الشمسية الكبيرة أحواضًا ذات **قطع مكافئ طويلة لجمع وتركيز ضوء الشمس وتحويله إلى طاقة حرارية**. يوجد في مركز الحوض أنبوبة ممتلئة بسائل ناقل للحرارة، غالبًا ما يكون زيتًا. ويقوم الحوض الانعكاسي بتركيز حرارة الشمس على الأنبوبة. ومن ثم يقوم السائل الساخن بتسخين الماء ليتحول إلى بخار. وهذا البخار يقوم بتدوير مولد بخاري. ويتم ترتيب الأحواض في صفوف متوازية لتكون مجالا تجميعيًا. ويكون لدى بعض المحطات قدرات تخزينية لحفظ الطّاقة الحرارية لاستخدامها أثناء الليل.

**أبراج الطّاقة الشّمسيّة الحرارية المركزة:**
يوضع برج شمسيّ طويل في منتصف المرايا المرتبة لتتبع الشمس وتركز ضوءها على مستقبل في أعلى ذلك البرج. وتكوّن المرايا مرتبة ترتيبًا دائريًا متحركًا حول البرج. ويقوم سائل النقل الحراري داخل المستقبل بتوليد البخار لتدوير مولد. وفي أبراج الطّاقة المستخدمة في وقت سابق، كان سائل النقل الحراري هو البخار.

والآن حلّت أملاح النترات الذائبة محل البخار، وذلك لأنها أفضل في نقل الحرارة وتخزينها للاستخدام في وقت لاحق.

| **أسئلة الدرس:** | |
|---|---|
| 1- | من أية مواد يمكن الحصول على الطّاقة الحيوية؟ |
| 2- | عرف ظاهرة المد والجزر شارحاً كيف يتم استخدامها لتوليد الطّاقة. |
| 3- | ما وظيفة صندوق التروس في تروبينات الرياح؟ |
| 4- | ما الذي يميز توربينات الرياح الرأسية المحور؟ |

تواجه الطّاقة المتجددة الكثير من التحديات حتى مع انتشارها المتزايد، تتمثّل هذه التحديات في منافسة مصادر الطّاقة التقليدية والتشريعات التي تحدّ من انتشارها في بعض الدول، فإذا أردنا أن نضمن دوراً محورياً للطاقة المتجددة مستقبلاً، يجب على الدول دعمها على الصعد كافة بفرض تشريعات تضمن تطبيق هذه التكنولوجيا ودعمها، قدر الإمكان.

**تحديات الطّاقة المتجددة**

بالرغم من الصورة الجميلة المتكونة عن مصادر الطّاقة المتجددة إلا أن تحديات كبيرة تواجه هذه المصادر. وسنتناول هذه التحديات لأنواع الطاقات المتجددة الرئيسية الطّاقة الشمسية وطاقة الرياح وطاقة المياه.

**1-التحديات التي تواجه الطّاقة الشمسية.**

تواجه الطّاقة الشمسية تحديات كثيرة، أهمها أن الشمس مصدر متقلب، حيث تشرق الشمس في فترة النهار وفي فصول معينة أكثر من غيرها، هذا التذبذب يؤدي إلى استحالة الاعتماد عليها كمصدر رئيسيّ لتزويد الشّبكات الكهربائية بالطّاقة، فمثلاً معظم الدول تكون فترة الذروة لاستهلاك الطّاقة الكهربائي في فترة الليل عند عودة الناس إلى بيتوهم، ولكن هذه الفترة تكون الشمس في أقل مستويات شروقها، وهذا يعكس استحالة تغطيتها لمتطلبات الأحمال في هذه الفترة دون وجود تكنولوجيا فعالة لتخزين الطّاقة المنتجة لها في فترات ذروتها.

ومن ناحية أخرى تثار حول الأنظمة الشّمسيّة ملاحظات بيئية، أهمها أن الطّاقة المستخدمة لإنتاج الخلايا الشمسة طاقة غير بسيطة، حيث يقدر أن 95% من تكلفة الألواح الشّمسيّة يذهب إلى الطّاقة المستخدمة في تصنيعها، خاصة تصنيع الألمنيوم، وتنقية السيلكون المستخدم فيها.

**معامل الاستطاعة**

يعرف معامل الاستطاعة لأي نظام توليد بأنه الفترة الزمنية التي يعمل فيها النظام بقدرته القصوى مقسوماً على الفترة الزمنية الكلية التي يعمل فيها النظام. على سبيل المثال فإن نظام توليد شمسي لا يعمل بقدرته

القصوى طوال الوقت، حيث إن هناك أوقاتاً تغيب فيها الشّمسيّ، مثل فترة الليل. ويعتبر هذا المعامل معياراً مهماً في اعتماد أنظمة التوليد وفعاليتها، فكلما زادت قيمة هذا المعامل فإن ذلك يدلّ على أن النظام ينتج طاقة أكثر بمرور الزمن، ولذلك يعد استثماراً ناجحاً على المدى الطويل.

| نوع التوليد | معامل الاستطاعة |
|---|---|
| توربينات الرياح. | %25 |
| الخلايا الشّمسيّة. | %25-10 |
| المفاعلات النووية. | %90 |
| محطات توليد المياه. | %40 |
| توربينات الغاز المركبة. | %38 |
| محطات توليد الفحم. | %70 |

تعكس هذه الأرقام معامل الانعكاس المنخفض للطاقة الشّمسيّة، حيث إن النظام المبني يستطيع توليد طاقة كبيرة، ولكنه بسبب الظروف المتعلقة بالشمس لا ينتج طاقته القصوى إلا بنسبة 10-25 % من فترة تشغيله.

### 1- التّحديات التي تواجه طاقة الرياح

تواجه طاقة الرياح تحديات كبيرة تتمثّل في محدودية الأماكن الصّالحة لتركيب توربينات الرياح، حيث تحتاج التوربينات إلى مناطق فيها حركة رياح دائمة، ومن التحديات أيضاً انخفاض معامل الاستطاعة لتوربينات الرياح، إذ يبلغ معامل استطاعتها فقط 25% ، وهذا ينعكس سلبياً على المدة التي يحتاجها التوربين لينتج طاقة تعوض الأموال التي أنفقت على صناعته وتركيبه وصيانته. وكذلك تحتوي توربينات الرياح على أجزاء ميكانيكية كثير، ومثل هذه الأجزاء تحتاج إلى صيانة دورية واستبدال في بعض الظروف، مما يرفع التكلفة التشغيلية لمثل هذه الأنظمة.

### 2- التّحديات التي تواجهها طاقة المياه

تواجه تكنولوجيا التوليد باستخدام المياه تحديات كثيرة تجعل منها خياراً محدوداً في إنتاج الطّاقة الكهربائية، تتلخص هذه التّحديات بمحدودية الأماكن التي يمكن إقامة السدود فيها، التي يجب أن تكون على مجرى مائي وبين مناطق جبلية، وعادة ما توجد مثل هذه الأماكن بعيدة عن المناطق السكنية والصّناعية التي تحتاج إلى الكهرباء وبالتالي صعوبة نقل الكهرباء المولدة من السدود إلى المناطق التي تحتاجها. ومن التّحديات أيضاً أن هناك مسائلات بيئية لكمية الإسمنت المستخدمة في بناء السدود، حيث إن الإسمنت أثناء تصنيعه يبعث كميات كبيرة جداً من غاز ثاني أكسيد الكربون، ويحتاج إلى طاقة كبيرة لإنتاجه، ومن الملاحظات البيئية أيضاً على السدود أن البحيرات المتكونة خلفه تدمر الكثير من الأراضي. انظر الشكل المجاور لبحيرة متكونة خلف سد، موضّحاً كمية الأراضي التي فُقدت إثر تجمع هذه البحيرة.

### التشريعات الخاصة بالطّاقة المتجددة

يعتمد انتشار الطّاقة البديلة على عوامل عديدة، لعل من أهمها التشريعات وسياسات الدول الداعمة لها، فكثير من الدول تنبهت على أهمية استغلال الطّاقة المتجددة فطرحت تشريعات تهدف إلى توجيه المجتمع نحو استغلال الطّاقة المتجددة، وتنقسم هذه التشريعات إلى قسمين رئيسين:

**1- تشريعات تحفيزية:** حيث تقوم الدولة بطرح العديد من الحوافز لمن يقوم بتركيب أنظمة توليد طاقة متجددة على سبيل المثال تقوم بعض الدول بشراء الكيلو-واط.ساعة المنتج من أنظمة التوليد الشّمسية بسعر أعلى مما تبيعه للمستهلك، وهذا يعدّ حافزاً قوياً يدفع المواطنين بجدية في تركيب مثل هذه الأنظمة. ومن التشريعات الأخرى في هذا المجال أن الدول تعفي كافة أجزاء أنظمة توليد الطّاقة المتجددة من الجمارك والضرائب، مما يؤدي إلى توافرها بسعر منخفض يزيد من إقبال الناس عليها.

**2- تشريعات إجبارية:** قامت بعض الدول بسن تشريعات إجبارية في مجال الطّاقة المتجددة، حيث جعلت على سبيل المثال المشاريع المنشأة كافة في مناطق معينة من الدولة بأن توفر ما نسبته 5% من احتياجاتها من مصادر الطّاقة المتجددة أو فرضت على بعض المطورين للمناطق السكانية بأن تكون إنارة الشوارع معتمدة على أنظمة توليد طاقة متجددة.

**قطاع الطّاقة المتجددة في فلسطين**

تستورد فلسطين تقريباً كامل حاجتها من الطّاقة الكهربائية من دول مجاورة، مثل الأردن ومصر والكيان الصهيوني المغتصب، فبمجرد بروز الطّاقة المتجددة كبديل للطاقة التقليدية بادرت الحكومة الفلسطينية إلى إقرار تشريعات خاصة بتحفيز الاعتماد على مصادر الطّاقة المتجددة، وكانت أهم خطوة في هذا المجال هي " الاستراتيجية العامية للطاقة البديلة" والتي تهدف إلى الحصول تدريجياً على 240 جيجا واط ساعة على الأقل لتوليد الكهرباء من مصادر الطّاقة المتجددة بما يعادل 10% من القدرة الكهربائية المستهلكة محلياً بحلول عام 2020حسب الخطة الاستراتيجية لقطاع الطّاقة.

ويقدر استغلال المصادر المتجددة (الحرارية) بحوالي 18% من مجمل استهلك الطّاقة الحالي في فلسطين والذي يمثّل ما قيمته2188 جيجا واط ساعة (كطاقة كهربائية)، وتستخدم بشكل خاص في تسخين المياه والتدفئة، وبذلك تكون نسبة الاعتماد على الطّاقة المتجددة بما يعادل 25 % بحلول عام 2020وهذا يتناسب بل يتعدى الأهداف التي وضعتها معظم الدول الأخرى.

وبناء على دراسات تقييم مصادر الطّاقة المتجددة في فلسطين والتي قامت بها سلطة الطّاقة، فقد تم تحديد الخيارات والتكنولوجيا المناسبة لاستغلال مصادر الطّاقة المتجددة من حيث التطبيق ومجال الاستثمار حتى عام 2020حسب الجدول الاتي:

**المبادرة الفلسطينية للطاقة الشّمسية**

شملت هذه المبادرة نقلة غير مسبوقة لنشر مفاهيم الطّاقة الشمسية بأسرع وقت ممكن تم تسميتها المبادرة الفلسطينية للطاقة الشمسية، تكونت هذه المبادرة من ثلاث مراحل تمتد لثلاث سنوات من منتصف عام 2012 حتى منتصف عام *2015* تهدف هذه المبادرة إلى إقامة مشاريع صغيرة متفرقة بقدرة حتى *5*كيلو واط لكل مشروع يتم تركيبه على أسطح المنازل للحصول في العام الأول على نصف ميغا واط من 100 منزل، وتوسّع المشروع ليصل إلى توليد واحد ونصف ميجا واط خلال العام الذي يليه، وفي العام الأخير من المشروع يتم توليد3 ميجا واط إضافية أي بمجموع 5 ميغا واط خلال الثلاث سنوات، أي ما يقارب 1000 منزل موزعة بنسبة 30%، 40% 30% شمال، وسط، وجنوب الضفة الغربية على التوالي.

| التقنية المستخدمة | 2020<br>القدرة (ميغا واط) |
|---|---|
| محطات خلايا شمسية<br>ارضية | 25 |
| انظمة خلايا شمسية على الاسطح<br>(المبادرة الفلسطينية للطاقة الشمسية) | 20 |
| محطات الطاقة الشمسية المركزه<br>(الحرارية) | 20 |
| الغاز الحيوي من مكبات النفايات | 18 |
| الغاز الحيوي من المخلفات الحيوانية | 3 |
| محطات الرياح الصغيرة | 4 |
| محطات مزارع الرياح | 40 |
| **المجموع** | **130** |

| **أسئلة الدرس:** | |
|---|---|
| 1- | ما التحديات التي يواجهها قطاع الطّاقة الشمسية؟ |
| 2- | عرف معامل الاستطاعة لأنظمة توليد الطّاقة المتجددة. |
| 3- | قارن بين التشريعات الاجبارية والتشريعات التحفيزية في مجال الطّاقة المتجددة. |

| أسئلة الوحدة: | |
|---|---|
| 1- | اختر رمز الإجابة الصّحيحة فيما يلي:<br>1- تهدف المبادرة الفلسطينية إلى إقامة مشاريع صغيرة تصل قدرتها إلى:<br>أ- 4 كيلووات ب- 5كيلووات<br>ج- 6 كيلووات د- 7 كيلووات<br><br>2- لنجاح إقامة سد يشترط بمكان الإقامة أن يكون:<br>أ-على مجرى مائي فقط ب- بين مرتفعات فقط<br>ج- على مجرى مائي بين مرتفعات د- في السهول<br><br>3- يقع أكبر سد في العالم في دولة:<br>أ- النرويج ب- أمريكا<br>ج- البرتغال د- الصين<br><br>4- تحسب الطّاقة الكامنة التي يمكن استخراجها بواسطة توربين رياح بالعلاقة التالية:<br>أ- $P_{wind} = 1/2\ \rho\ A\ V^3$ ب- $P_{wind} = 1/4\rho\ A\ V^3$<br>ج- $P_{wind} = 1/5\rho\ A\ V^3$ د- $P_{wind} = 1/3\rho\ A\ V^3$ |
| 2- | توربين للرياح طول إحدى شفراته= 10 متر وموضوع في مواجهة رياح سرعتها = 20متر/ثانية إذا علمت بأن كثافة الهواء في تلك المنطقة يبلغ 1.23 كغم/مكعب احسب ما يلي:<br>1- القدرة المستخلصة من الرياح بواسطة هذا النظام.<br>2- الطّاقة الكهربائية المنتجة إذا كان معامل الطّاقة Cpعند سرعة الرياح المعطاة يساوي = 0.6 |
| 3- | حلل ما يلي:<br>ما العلاقة بين الزمن الذي تحتاجه محطة الطّاقة المتجددة لاسترجاع التكاليف التي دفعت فيها ومعامل الاستطاعة الخاص بها؟ |

# ملاحظات

# ملاحظات

## لجنة المناهج الوزاريّة:

| | | | |
|---|---|---|---|
| د. صبري صيدم | د. بصري صالح | أ. ثروت زيد | د. سمية النّخالة |
| د. شهناز الفار | أ. عزام أبو بكر | م. فواز مجاهد | أ. علي مناصرة |
| م. جهاد دريدي | | | |

## لجنة الخطوط العريضة لمنهاج الطاقة المتجددة للصف الحادي عشر الصناعي:

| | | |
|---|---|---|
| إبراهيم قدح | جاد حسين | علي ريان |
| هيثم القاضي | معاذ أبو سليقة | |

تَمَّ بِحَمْدِ الله